# INVESTIGACION Y CIENCIA

*Edición en español de* SCIENTIFIC AMERICAN




LA MECANIZACION DEL TRABAJO

*Noviembre 1982*

400 Ptas.

Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa

*Número 74*
*Noviembre 1982*

INVESTIGACION Y CIENCIA *Edición en español de* SCIENTIFIC AMERICAN



**SCIENTIFIC AMERICAN**

COMITE DE REDACCION Gerard Piel (Presidente), Dennis Flanagan, Brian P. Hayes, Philip Morrison, Francis Bello, Peter G. Brown, Michael Feirtag, Jonathan B. Piel, John Purcell, James T. Rogers, Armand Schwab, Jr., Joseph Wisnovsky

DIRECCION EDITORIAL Dennis Flanagan
DIRECCION ARTISTICA Samuel L. Howard
PRODUCCION Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL George S. Conn

**INVESTIGACION Y CIENCIA**

DIRECTOR Francisco Gracia Guillén
REDACCION José María Valderas Gallardo (Redactor Jefe)
Carlos Oppenheimer
José María Farré Josa
PRODUCCION César Redondo Zayas
VENTAS Y PUBLICIDAD Elena Sánchez-Fabrés
PROMOCION EXTERIOR Pedro Clotas Cierco
EDITA Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (ESPAÑA)

**Colaboradores de este número:**

*Asesoramiento y traducción:*

Carlos López Monís: *Mecanización del trabajo*; Vicente Caballer: *Mecanización de la agricultura*; Luis Escanciano Montouse: *Mecanización de la minería*; Josep Fons Boronat: *Mecanización del diseño y de la fabricación*; Dionisio Cámara Ibáñez: *Mecanización del comercio*; Emilio Merchán: *Mecanización del trabajo de oficina*; Mireia Bofill: *Mecanización del trabajo de la mujer*; Adolfo Castilla: *Distribución de trabajo y renta*; Luis Bou: *Temas metamágicos;* J. Vilardell: *Taller y laboratorio.*

*Ciencia y sociedad:*

Gabriel Tortella

*Libros:*

J. Alsina, J. Vernet y L. Alonso



**LA PORTADA**

La pintura de la portada simboliza el tema de este número de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA: la introducción de nuevas técnicas en el trabajo y las consecuencias económicas y sociales del cambio tecnológico. El teclado que se muestra es el del CGC 7900, ordenador de gráficos en color, fabricado por Chromatics, Inc. de Tucker, Georgia. La parte inferior del teclado se parece mucho a una máquina de escribir corriente, pero un conjunto adicional de teclas controla funciones que crean imágenes gráficas por ordenador. El operador puede presionar la tecla marcada "Create" (crear) e introducir una serie de órdenes para el diseño de una figura geométrica; apretando la tecla "Redraw" ("redibujar"), la figura diseñada aparece sobre la pantalla de un tubo de rayos catódicos; las teclas de color sin indicaciones determinan la coloración de las superficies del dibujo. El operador define la función de las teclas de la fila superior.

*Suscripciones:*
Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (España)
Teléfono 322 05 51 ext. 37

*Condiciones de suscripción:*
España:
Un año (12 números): 3.300 pesetas
Extranjero:
Un año (12 números): 52 U.S. $
Ejemplar atrasado ordinario:
340 pesetas
Ejemplar atrasado extraordinario:
440 pesetas

*Distribución para España*
Distribuciones de Enlace, S. A.
Ausias March, 49, Barcelona-10

*Distribución para los restantes países:*
Editorial Labor, S. A.
Calabria, 235-239 - Barcelona-29

*Publicidad:*
Madrid:
Gustavo Martínez Ovin
Avda. de Moratalaz, 137, Madrid-30
Tel. 430 84 81
Cataluña:
Lourdes Padrós
Manuel Girona, 61, 2.º, Barcelona-34
Teléfono 204 45 83

Controlado por O.J.D.

**PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES**

Pintura de la portada de Marvin Mattelson

| Página | Fuente |
|---|---|
| 12 | Colección fotográfica de Edward L. Bafford, Universidad de Maryland, Condado de Baltimore |
| 14 | División de Libros Raros de la Biblioteca Pública de Nueva York; Fundaciones Astor, Lenox y Tilden |
| 15-19 | Allen Beechel |
| 21 | Motorola, Inc. |
| 24 | Photo Researchers, Inc. |
| 26-27 | George V. Kelvin |
| 28-29 | George V. Kelvin (*arriba*), Institución Smithsoniana (*abajo*) |
| 30-36 | George V. Kelvin |
| 37 | Harris Laboratories, Inc. |
| 40 | Barrie Rokeach |
| 42-53 | Walken Graphics |
| 60 | Jon Brenneis |
| 62-65 | Ian Worpole |
| 66 | Tom Pantages |
| 68-73 | Jon Brenneis |
| 74-76 | Ian Worpole |
| 78 | Allan J. Litty, Flying Camera Inc. |
| 80-84 | Andrew Christie |
| 85 | American Bank Note Co. |
| 86 | Photographic Sciences Corp. |
| 87 | Andrew Christie |
| 90 | Hartman Material Handling Systems, Inc. |
| 92 | Andrew Christie |
| 94 | Severiano Aznar |
| 97-99 | M. Alonso y Severiano Aznar |
| 100 | Severiano Aznar |
| 101 | M. Alonso y Severiano Aznar |
| 102 | Severiano Aznar (*arriba*), M. Alonso y Severiano Aznar (*abajo*) |
| 103 | M. Alonso y Severiano Aznar |
| 104 | R. F. Bonifield |
| 106-108 | Laszlo Kubinyi |
| 109-111 | Alan D. Iselin |
| 112 | Daroff Design, Inc. |
| 114 | R. F. Bonifield |
| 115 | División de Sistemas Automatizados, Bell & Howell |
| 116 | Museo Textil Merrimack Valley |
| 118-119 | American Telephone and Telegraph Company |
| 120 | Metropolitan Life Insurance Company |
| 121-126 | Alan D. Iselin |
| 128 | Ralph Morse |
| 132-133 | Volkswagenwerk AG |
| 134-142 | Allen Beechel |
| 160 | R. F. Bonifield |
| 162-164 | Michael Goodman |
| 165 | Jearl Walker |

ISSN 0210-136X
Dep. legal: B. 38.999-76
Fotocomposición Tecfa
Pedro IV, 160 - Barcelona-5
Fotocromos reproducidos por GINSA, S.A.
Imprime GRAFESA
Gráfica Elzeviriana, S. A.
Nápoles, 249 - Tel. 207 40 11
Barcelona-13
Printed in Spain - Impreso en España

# Los autores

ELI GINZBERG ("Mecanización del trabajo") dirige el Proyecto sobre la Conservación de los Recursos Humanos, que patrocina la Universidad de Columbia, centro superior al que se encuentra vinculado desde sus años de estudiante. Allí se licenció y doctoró, en 1934, en ciencias económicas. Al año siguiente se incorporaba al claustro. Desde 1967 y hasta 1979 rigió la cátedra A. Barton Hepburn de la Escuela Empresarial de Posgraduados. Ginzberg quiere dejar constancia agradecida de la ayuda recibida de Anna B. Dutka para la redacción de este artículo.

WAYNE D. RASMUSSEN ("Mecanización de la agricultura") tiene a su cargo la jefatura de la sección de historia de la agricultura del Departamento de Agricultura. Su padre era un emigrante danés que llegó a establecer un rancho de ganado en el estado de Montana, donde Rasmussen creció. Compartía sus estudios en el Eastern Montana College con las clases particulares que le permitían sufragarse la carrera. Pasó luego a la Universidad de Montana. Y, de allí, a Washington, entrando en la administración. Desde 1940 viene trabajando en el campo de la historia de la agricultura, en el ente público arriba mencionado.

ROBERT L. MAROVELLI Y JOHN M. KARHNAK ("Mecanización de la minería") desempeñan cargos de la máxima responsabilidad en la Oficina de Minas, organismo de la administración norteamericana. Marovelli, que ostenta la jefatura de la división de minerales, se formó en la Universidad de Alaska. Tras graduarse, entró de ingeniero en la Goodnews Bay Mining Company, de Alaska. Se trasladó luego a la Oficina de Minas, y allí su primer trabajo recayó sobre la existencia de minerales de hierro, manganeso y titanio en el norte de Minnesota. Más tarde se ocuparía de la estructura y formación de las rocas. Su actividad científica fue abriéndose a otros departamentos estatales, sin excluir el examen mineralógico de las muestras lunares traídas por los viajes de la NASA. Karhnak procede de la Universidad de Pennsylvania, donde se licenció en ingeniería agrícola en 1970. Pasó seis años en las Fuerzas Armadas, en calidad de empleado civil en el campo de la hidráulica y experto en maquinaria pesada de movimientos de tierras. En 1976 entró en la Oficina de Minas, donde trabajó en la maximización del rendimiento de las minas de carbón.

THOMAS G. GUNN ("Mecanización del diseño y de la fabricación") es gerente del grupo de producción integrada con ordenadores de Arthur D. Little. Llegó a su empleo actual de manera poco ortodoxa. Empezó sus estudios universitarios en el Antioch College en 1960, y los dejó para conducir coches de carreras. Como antídoto contra las carreras automovilísticas, su padre le persuadió de que ingresara en el Ejército, donde sirvió cuatro años antes de volver a sus estudios en la Northeastern University. Después de graduarse en ingeniería mecánica en 1970, continuó hasta licenciarse en ciencias empresariales por el Dartmouth College, en 1977. Entró en Arthur D. Little en 1979, tras breves intervalos de trabajo de gestión en las industrias del calzado y los ordenadores.

MARTIN L. ERNST ("Mecanización del comercio") es vicepresidente de Arthur D. Little. Se graduó en 1941 por el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Se enroló en las Fuerzas Armadas; sirvió en la Marina y en las Fuerzas Aéreas. En 1941 trabajó como físico en el laboratorio Naval Ordnance, continuando en el mismo cometido en 1942, pero ahora encuadrado en el Departamento Naval. Entre 1943 y 1946 trabajó como analista de operaciones en las Fuerzas Aéreas. En 1946 entró en el Centro de Investigación de Cambridge, donde permaneció hasta 1948. Fue director adjunto de la Jefatura de Operaciones Navales.

SEVERIANO AZNAR PEÑARROYAS ("Mecanización de las telecomunicaciones") dirige el departamento de proyectos generales del centro de investigación de Standard Eléctrica, S. A., con sede en Madrid. Ingeniero de telecomunicación por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de Madrid, comienza a trabajar en 1966 en investigación y desarrollo de sistemas de conmutación semielectrónicos con matrices de conmutación de tipo electromecánico y espacial. Durante siete años, como jefe de división primero y como director técnico adjunto de conmutación del centro de investigación de Standard Eléctrica después, participa en el desarrollo internacional de las primeras experiencias de conmutación temporal y en el desarrollo de equipos auxiliares, basados en ordenador, para mejorar los servicios de la red actual. Colabora en el diseño de las nuevas centrales instaladas para tráfico internacional en Roma, Río de Janeiro, París y Valencia. Está comenzando ahora los primeros ensayos sobre la utilización de robótica en las fábricas de telecomunicación.

VINCENT E. GIULIANO ("Mecanización del trabajo de oficina") se halla adscrito a la sección de sistemas de información de la empresa Arthur D. Little. Aunque sus primeros títulos universitarios los recibió en Michigan, su doctorado lo consiguió en la Universidad de Harvard en 1959. En sus últimos años de carrera Giuliano trabajó para los laboratorios de desarrollo de la General Motors, centro de maniobras del ejército en Aberdeen y el centro de cálculo de la Universidad de Wayne.

JOAN WALLACH SCOTT ("Mecanización del trabajo de la mujer") es profesora de historia en la Brown University. Se licenció en la Brandeis University en 1962, doctorándose en historia por la de Wisconsin en Madison, en 1969. De 1970 a 1972 formó parte del claustro de profesores de la Universidad de Illinois en Chicago Circle; de 1972 a 1974 enseñó en la Northwestern y, de 1974 a 1980, en la de Carolina del Norte. En 1980 pasó a la Brown University. Es coautora, con Louise A. Tilley, de *Women, Work and Family*.

WASSILY W. LEONTIEF. ("Distribución de trabajo y renta") es profesor de economía y director del Instituto de Análisis Económicos de la Universidad de Nueva York. Nació en Rusia, en la ciudad llamada entonces S. Petersburgo. Cuando se licenció por la universidad de esa ciudad, ésta era conocida por Leningrado. Dejó la URSS para estudiar en la Universidad de Kiel, donde se doctoró en 1928. En 1932 se convirtió en profesor de Harvard. Allí permaneció hasta 1975, ocupando al final la cátedra Henry Lee de economía política. Expirado su contrato en Harvard, pasó a la Universidad de Nueva York. Entre sus logros en economía destaca el desarrollo de los métodos input-output de análisis de las economías, una técnica descrita en su trabajo *Input-output Economics*. Leontief ha recibido por su labor varios premios y honores, incluido el premio Nobel de economía en 1973.

# Hace…

José M.ª López Piñero

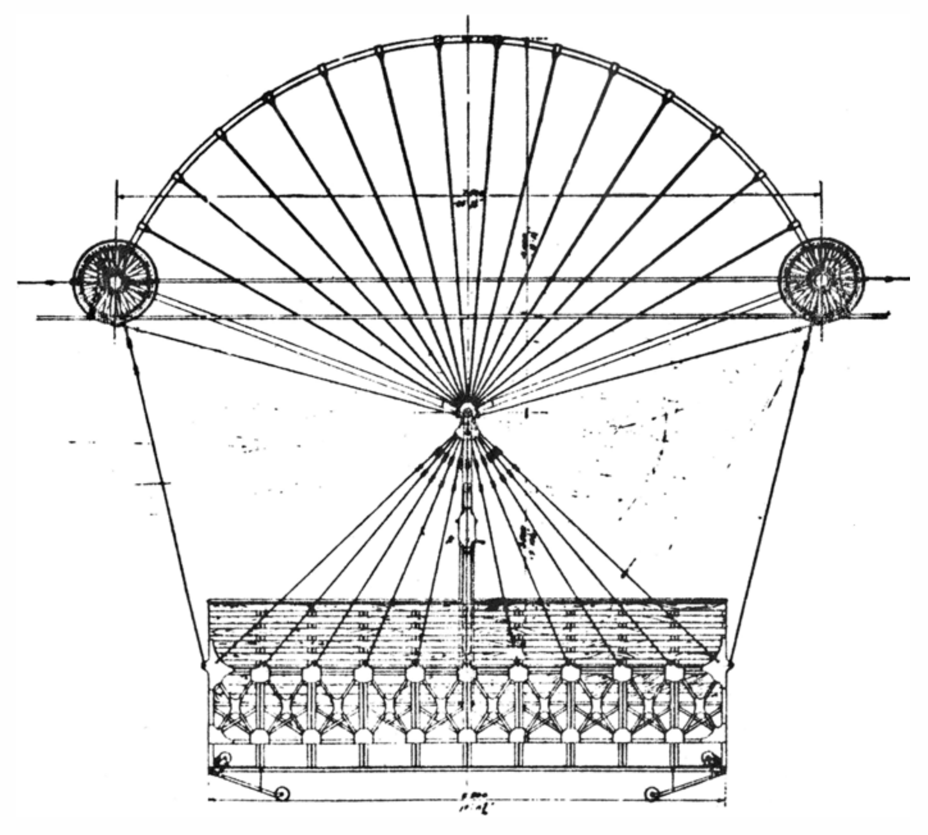
*… cien años*

Leonardo Torres Quevedo residía en Madrid consagrado al estudio y a la planificación de las experiencias y proyectos que constituirían la base de sus primeras invenciones. Tenía entonces treinta años, ya que había nacido en 1852 en Santa Cruz de Iguña, pequeña aldea situada en uno de los valles más elevados de Cantabria. Su padre era ingeniero de caminos y la familia contaba con una notable fortuna.

Cursó los estudios de bachillerato en el Instituto de Enseñanza Media de Bilbao, y, al terminarlos (1868), pasó dos años en París, perfeccionando su formación en un colegio regentado por religiosos. En 1871 ingresó en la Escuela de Ingenieros de Caminos, de Madrid, donde obtuvo cinco años más tarde el correspondiente título. Ejerció su profesión durante algún tiempo como ingeniero de una compañía de ferrocarriles. Su posición económica le permitió, sin embargo, abandonarla y desde 1878, al regreso de un viaje de estudios por Italia, Francia y Suiza, se dedicó a su obra personal, como hemos adelantado.

En 1885 contrajo matrimonio y durante unos años fijó su residencia en la localidad santanderina de Portolín. Allí realizó los primeros ensayos de un trasbordador de su invención, consiguiendo superar con éxito, primero, una luz de doscientos metros con una barquilla movida con fuerza animal y, más tarde, otra de dos kilómetros, ya con motor mecánico. Perfeccionó el modelo y, en 1890, marchó a Suiza para intentar que fuera aceptado por empresas de aquel país. Sus gestiones, que fracasaron por completo, alcanzaron cierta notoriedad, motivando incluso caricaturas en la prensa satírica helvética.

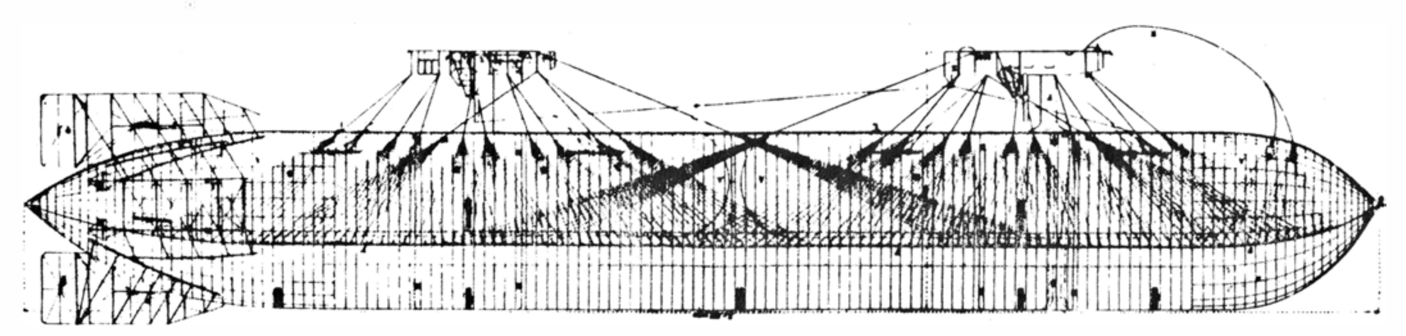
Este desengaño se vería compensado años más tarde por el triunfo internacional de su modelo de trasbordador, cuya idea básica consistía en una vía compuesta de varios cables, cada uno de ellos con tensión invariable determinada por un contrapeso e independiente de la de los demás y del peso del vagón. En 1909 se instaló ya uno, que cubría 280 metros, en el Monte Ulía, de San Sebastián. Seis años después, entre julio de 1915 y febrero de 1916, se construyó otro sobre las cataratas del Niágara, bajo la dirección de su hijo, Gonzalo Torres Quevedo. El "Niagara Spanish Aerocar", que sigue todavía en funcionamiento, tiene un vagón de seis toneladas de peso máximo que puede transportar cuarenta y cinco viajeros.



*Vagón del "Niagara Spanish Aerocar"*

La aeronáutica fue otro campo en el que Torres Quevedo realizó importantes contribuciones. La más destacada de ellas fue un globo dirigible, cuyo diseño presentó en 1902 en las academias de ciencias de Madrid y de París. El primer prototipo lo construyó en 1905, en colaboración con Alfredo Kindelán. Realizó luego ensayos en el Parque Aerostático Militar, de Guadalajara, en el que se había creado un Centro de Ensayos de Aeronáutica. Ante las dificultades de proveerse de hidrógeno, trasladó las pruebas a París, donde la empresa Astra le compró la patente. El "dirigible semirrígido Astra-Torres" superaba los ochenta kilómetros por hora y fue empleado por las fuerzas armadas francesas y británicas durante la primera guerra mundial. Eugenio Portela resume sus características en los siguientes términos: "Era hinchable y podía transportarse por tierra en dos pequeños camiones; sin embargo una vez hinchado se transformaba en una estructura semirrígida con grandes ventajas. La barquilla podía desplazarse en sentido longitudinal, lo que permitía fijar a voluntad el centro de gravedad del conjunto".

Aunque la fértil actividad inventiva de Torres Quevedo se extendió a otros muchos aspectos, el núcleo de su obra estuvo integrado por las aportaciones relacionadas con el cálculo mecánico y la automática. A partir de 1890 comenzó a trabajar en máquinas para resolver ecuaciones algebraicas, sobre las que, en 1893, presentó una *Memoria* a la



*"Dirigible semirrígido"*

Academia de Ciencias, de Madrid. Eran máquinas de las que hoy se llaman analógicas. "Las variables –afirma Puig Adam– se representan [en las máquinas de Torres Quevedo] por ángulos de giro, con lo que su campo de variabilidad no tiene teóricamente límites. La suma y resta de giros se realiza mediante el dispositivo diferencial. Pero si se gradúan los limbos angulares en escalas logarítmicas... la suma y resta se traduce en producto y cociente. Una multiplicación de velocidades de giro mediante juegos de ruedas dentadas convenientes resuelve el problema de la potenciación. Realizados de este modo los términos de un polinomio, falta sólo materializar su suma. Torres Quevedo aplica para ello el más ingenioso y original dispositivo de su máquina: el *husillo sin fin*, que viene a ser una realización cinemática de los logaritmos aditivos de Gauss. Combinando los elementos mencionados construye un aparato capaz de dar los valores de una función algebraica cociente de dos polimonios, máquina cuya estructura depende sólo del número de términos en el numerador y en el denominador, provistos de multiplicadores de velocidad cambiables según la potencia de dichos términos."

*"Husillo sin fin" de las máquinas para resolver ecuaciones algebraicas*

La *Memoria* de 1893 sirvió de base a otra más ambiciosa en la que Torres Quevedo expuso su teoría general sobre las máquinas algebraicas, así como los fundamentos cinemáticos de sus modelos. Con el título de *Machines à calculer*, la presentó a la Academia de Ciencias de París, que acordó su publicación en 1901, tras el informe favorable de una comisión, en la que figuraban, entre otros, Henri Poincaré y Paul Appell. "El señor Torres Quevedo –terminaba diciendo dicho informe– ha dado una solución teórica, general y completa del problema de la construcción de las relaciones algebraicas y trascendentes por máquinas; además, ha construido, efectivamente, máquinas de un manejo cómodo para la resolución de ciertos tipos de ecuaciones algebraicas que se presentan frecuentemente en las aplicaciones".

Aparte de calculadoras analógicas, Torres Quevedo construyó otras de las que hoy se denominan digitales. Asumió en este terreno la tradición anterior, interesándose en especial por las concepciones del inglés Babbage. A pesar de su importancia, estas últimas se habían limitado al plano de la mecánica y no habían cristalizado en nada operativo. Torres Quevedo, en cambio, utilizó los recursos de la electromecánica, llegando a realizaciones por las que es generalmente considerado como uno de los adelantados de la línea que condujo a los actuales calculadores electrónicos. Sobresale a este respecto una serie de aritmómetros electromecánicos, el más completo de los cuales lo presentó en París en 1920, con motivo del centenario de la máquina de calcular del francés Colmar. Este aritmómetro era gobernado a distancia mediante una máquina de escribir, que tenía contactos eléctricos en sus teclas numerales, así como un dispositivo para escribir de modo automático los resultados de las operaciones. Contaba asimismo con una memoria electromecánica, que registraba los numerales hasta que se escribía en la máquina el signo de la operación que había que realizar. Fue la primera calculadora con estas dos características llamadas a imponerse en el futuro: mando a distancia y memoria.

Torres Quevedo había desarrollado con anterioridad los principios generales del nuevo campo en una memoria que tituló *Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones* (1914). Se trata de un auténtico texto "clásico" sobre la materia, del que vale la pena trascribir al menos los conceptos más generales: "La denominación de autómata se aplica a menudo a una máquina que imita la apariencia y los movimientos de un hombre o de un animal. Se trata, generalmente, en este caso de una máquina que lleva en sí misma la fuente de energía que la hace marchar (un resorte, por ejemplo) y que ejecuta ciertos actos, siempre los mismos, sin recibir ninguna influencia exterior.

"Hay otra clase de autómatas que ofrecen un interés mucho más considerable: los que imitan, no los gestos, sino las acciones del hombre, y algunas veces pueden reemplazarle.

"El torpedo automóvil, que sabe maniobrar para llegar al término de su carrera; la balanza que pesa las piezas de moneda para elegir las que tienen el peso legal, y mil aparatos más, muy cono-

cidos, pueden servir como ejemplo de autómatas de esta última especie.

"Se hallan otros muchos más interesantes en las fábricas. El progreso industrial se realiza principalmente sustituyendo al trabajo del hombre el trabajo de la máquina; poco a poco llegan a hacerse mecánicamente la mayor parte de las operaciones primitivamente ejecutadas por obreros, y se dice que una fabricación ha llegado a ser automática cuando puede ser completamente ejecutada por medio de máquinas.

"Convendrá, antes de pasar adelante, para precisar bien el objeto de esta nota, dividir los autómatas en dos grupos, según que las circunstancias que regulan su acción actúen de un modo continuo, o que, por el contrario, lo hagan bruscamente, por intermitencias.

"Podemos tomar como ejemplo del primer grupo el torpedo automóvil. El timón horizontal, destinado a mantenerle a una profundidad aproximadamente invariable, es gobernado por la acción de un depósito de aire comprimido, que hace equilibrio a la presión del agua, y por un péndulo: las variaciones de altura producen el desplazamiento de una pared que separa el depósito de aire del agua que le rodea; las variaciones de inclinación producen el movimiento, con relación al torpedo, del péndulo, que permanece vertical; el timón horizontal está unido al péndulo y a la pared del depósito por medio de mecanismos que le hacen tomar en cada momento la posición conveniente para que el torpedo varíe a la profundidad que se desea.

"Se trata, pues, de establecer entre tres móviles: el péndulo, la pared y el timón, enlaces mecánicos invariables. Esto es un problema de la misma especie que todos los estudiados en la Cinemática aplicada a la construcción de máquinas. Su estudio no presenta aquí un interés especial.

"En los autómatas del segundo grupo el automatismo no se obtiene por medio de enlaces mecánicos invariables; se trata, por el contrario, de alterar bruscamente estos enlaces cuando las circunstancias lo exigen; será necesario que el autómata –por medio de una maniobra generalmente muy rápida– embrague o desembrague una polea, abra o cierre una válvula, etc. Se requiere, en definitiva, que el autómata intervenga en un momento dado para alterar bruscamente la marcha de las máquinas, las cuales puede decirse que serán gobernadas por él.

"Se encuentran en las descripciones de máquinas ejemplos muy numerosos de estas intervenciones bruscas; pero es evidente que el estudio de esta forma de automatización no pertenece a la Cinemática. Así es que nunca se ha estudiado sistemáticamente, que yo sepa.

"Esa deficiencia debería corregirse agregando a la teoría de las máquinas una sección especial: La Automática, que examinará los procedimientos que pueden aplicarse a la construcción de autómatas dotados de una vida de relación más o menos complicada.

"Los autómatas deberán tener sentidos: termómetros, brújulas, dinamómetros, manómetros... aparatos sensibles a las circunstancias que deben influir en su marcha.

"La impresión recibida por cada uno de estos aparatos se traduce, generalmente, por un movimiento, por ejemplo, el desplazamiento de una aguja sobre un limbo graduado.

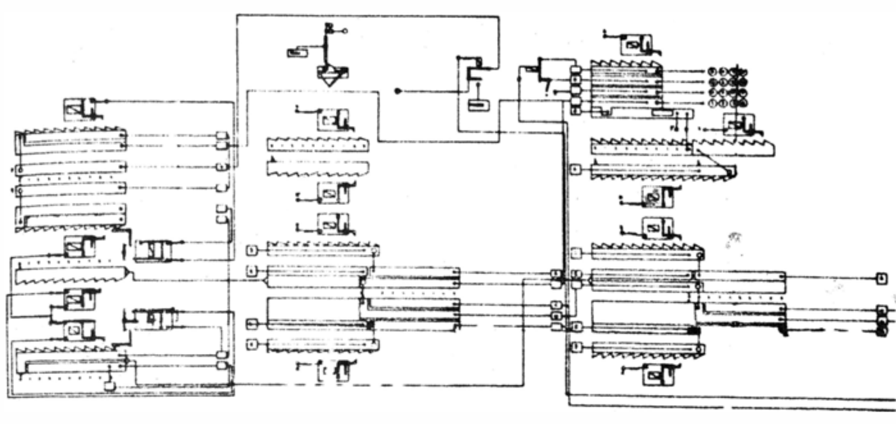
"Los autómatas deberán tener miembros: las máquinas o los aparatos capaces de ejecutar las operaciones que les sean encomendadas. La orden de ejecutar una operación será transmitida al aparato encargado de realizarla por procedimientos muy sencillos, aunque se trate de operaciones complicadas; esto se ve, por ejemplo, en algunos relojes, en los cuales una pieza que se dispara permite que se ponga en marcha un mecanismo, el cual actúa sobre muñecos que ejecutan diversos movimientos.

"Los autómatas deberán tener la energía suficiente: los acumuladores, las corrientes de agua, los depósitos de aire comprimido que han de suministrársela a las máquinas destinadas a ejecutar las operaciones necesarias.

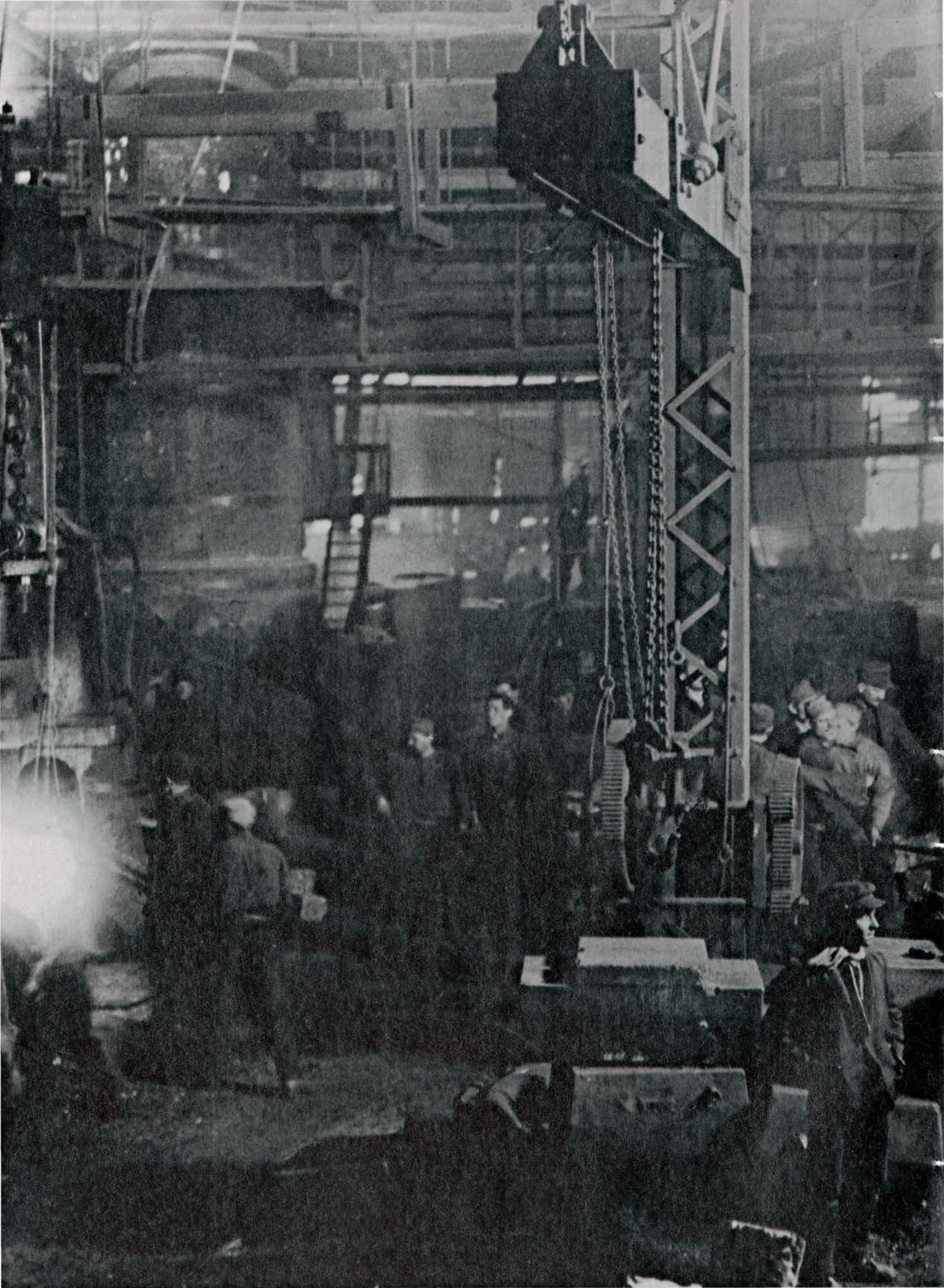
"Además, se necesita –y éste es el principal objeto de la Automática– que los autómatas tengan discernimiento, que puedan en cada momento, teniendo en cuenta las impresiones que reciben, y también, a veces, las que han recibido anteriormente, ordenar la operación deseada. Es necesario que los autómatas imiten a los seres vivos, ejecutando sus actos con arreglo a las impresiones que reciban y adaptando su conducta a las circunstancias."

Al segundo grupo de autómatas que distingue Torres Quevedo corresponden sus aritmómetros y también dos máquinas que dieron a su inventor una gran popularidad: el telekino y el ajedrecista. El primero –que fue el primer aparato de radiodirección operativo– lo ideó en principio para poder realizar sin peligro pruebas de su dirigible semirígido, aunque luego no llegó a utilizarse con este objetivo. Modelos de telekino con sucesivas mejoras se aplicaron con éxito para mover a distancia diversos vehículos terrestres y, sobre todo, embarcaciones, siendo particularmente celebrada la demostración que se realizó en 1906 en Bilbao ante Alfonso XIII. El ajedrecista fue una especie de juguete científico destinado a ejemplificar las concepciones de Torres Quevedo acerca de la Automática. Construyó el primero en 1912 y, ocho años más tarde, un segundo con una presentación perfeccionada. Ambos dan mate de rey y torre contra rey y cuentan con reacciones de censura ante jugadas antirreglamentarias de su adversario, denunciando las dos primeras y bloqueándose a la tercera.

Desde 1901, Torres Quevedo trabajó fundamentalmente en el Laboratorio de Mecánica Aplicada, institución oficial creada en dicho año como consecuencia del prestigio de su obra. Seis años más tarde pasó a denominarse Laboratorio de Automática y, en 1940, Instituto Torres Quevedo. Su fundador había fallecido en Madrid en diciembre de 1936, pocos días antes de cumplir ochenta y cuatro años y a los pocos meses de iniciarse la guerra civil.



*"Aritmómetro electromecánico"*



# Mecanización del trabajo

*Reflexiones sobre una cuestión que nació el mismo día que la Revolución Industrial: ¿desplaza o no la máquina al hombre? ¿Quita puestos de trabajo?*

Eli Ginzberg

Descargar el trabajo del hombre en la máquina o en la técnica es un proceso que comenzó en la prehistoria. Hoy está entrando en una nueva fase. De la aceleración en el ritmo de la innovación tecnológica, inaugurada por la Revolución Industrial, había resultado hasta fechas recientes, principalmente, el alejamiento del esfuerzo muscular humano de los procesos productivos. La revolución que supone la aplicación de los ordenadores, al ampliar el campo de acción del cerebro humano, está desencadenando un cambio social de parejo alcance: la expansión de los procesos de acumulación y tratamiento de la información. Este número de *Investigación y Ciencia* está dedicado a la última etapa de un curso histórico que, arrancando de las máquinas transmisoras de fuerza más elementales, condujo hasta las más avanzadas en el tratamiento de la información.

Por citar un ejemplo, la transformación de la clase trabajadora norteamericana, a lo largo de la breve historia de ese país, refleja la progresiva mecanización del trabajo que acompañó a su evolución desde una nación agrícola hasta una potencia industrial mundial. En 1820, más del 70 por ciento de la fuerza laboral se ocupaba en la agricultura. Hacia 1900, menos del 40 por ciento se dedicaba a faenas agrícolas. Hace medio siglo, cuando las sociedades capitalistas se deslizaban hacia la Gran Depresión, más de la mitad de la fuerza laboral se había desplazado de la producción de bienes a la provisión de servicios. Fue entonces, ante la desestabilización provocada por el desempleo a gran escala, cuando la política nacional comenzó a encarar el empleo, tanto por la preocupación de asegurar el consumo de bienes como por la necesidad de garantizar su producción.

El nivel actual de ocupación en el sector de los servicios se aproxima al mismo 70 por ciento que se dedicaba a la tierra hace siglo y medio. Sólo el 32 por ciento de los trabajadores se ocupan en la producción de bienes (principalmente en la fabricación) y apenas un 3 por ciento son campesinos.

Aunque esta transformación obedece, en buena medida, a la mecanización, se ha visto acompañada por cambios sociales tan amplios, que es preciso incluirlos entre las causas de la transformación tanto como entre sus efectos. Así, aunque las mujeres empezaron a incorporarse a la población trabajadora desde los primeros días de la Revolución Industrial, a la altura de 1980 totalizaban el 43 por ciento de la misma [véase "Mecanización del trabajo de la mujer", por Joan Wallach Scott, en este mismo número]. La edad de entrada en el mercado de trabajo se ha elevado, reflejando tanto el deseo de los norteamericanos de una mayor educación y el más alto nivel de formación exigido por empleos de una economía de complejidad creciente, como la menor relevancia del esfuerzo humano en los procesos productivos. En 1940, el promedio de años escolares cursados por la población juvenil era de 10,3; en 1980 fue de 12,9.

Una inquietante consecuencia de estos desplazamientos en la dinámica interna de la población trabajadora ha sido la persistencia de elevados niveles de desempleo entre sus miembros con menos formación. Este tipo de desempleo plantea el problema de cómo puede mantenerse eficazmente cualquier sociedad, a largo plazo, sin incorporar a todos sus miembros adultos a su vida económica, no sólo permitiéndoles trabajar, sino también comprar [véase "Distribución de trabajo y renta", por Wassily W. Leontief, que cierra este número monográfico]. Los seis artículos siguientes se ocupan de las tecnologías de la mecanización en seis áreas: agricultura, minería, diseño y fabricación, comercio, comunicaciones y trabajo de oficina. Este artículo introductorio tratará, necesariamente, de un número limitado de temas: en qué forma la mecanización del trabajo ha sido abordada por los economistas, cuál fue su incidencia en la economía en las últimas décadas y cómo condicionará el futuro. Una atención especial se va a prestar al impacto de la mecanización en la cambiante estructura y carácter de la fuerza laboral y en la evolución del medio ambiente de trabajo.

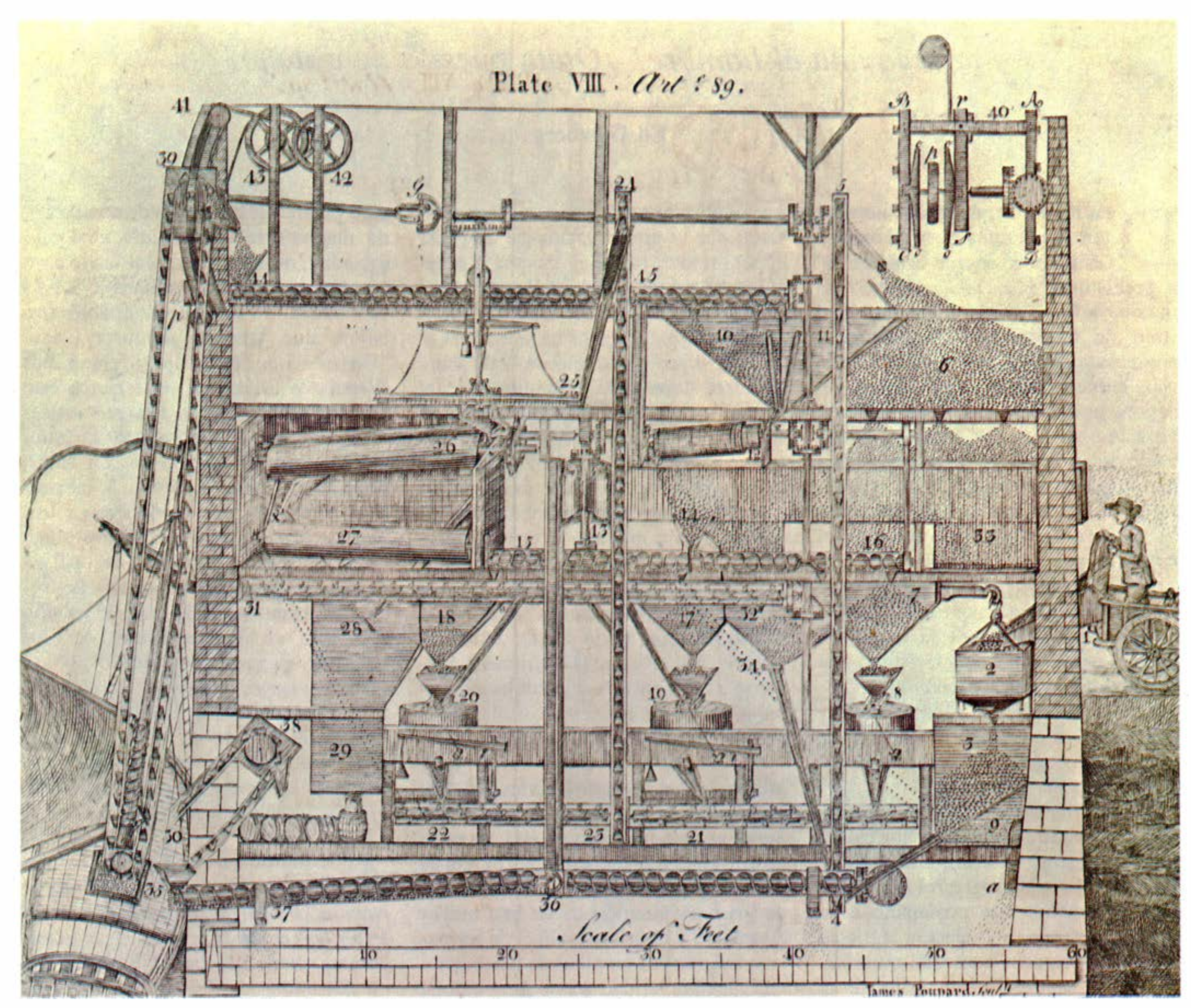
Adam Smith, en *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* [*Investigación sobre la naturaleza y las causas de la riqueza de las naciones*], publicado en 1776, destacaba un dilema básico: La eficacia en la generación de riqueza se refuerza con la división del trabajo; pero, al mismo tiempo, la especialización, que no trae consigo otra cosa que rutina y tareas repetitivas, rebaja al trabajador al privarle de oportunidades intelectuales y responsabilidad en la toma de decisiones. Smith, preocupado por cuestiones de filosofía moral, expresaba el temor de que a muchos trabajadores, en un desesperado afán por mejorar su situación económica, se les exigiera un esfuerzo tan desproporcionado que afectara a su salud e incluso acortara sus vidas. Smith escribió el libro antes del éxito comercial de la máquina de vapor de James Watt, por lo que nunca llegó a enfrentarse con toda la fuerza de la moderna industrialización. Pero sí supo

**TRABAJADORES DE UN ALTO HORNO de Pittsburgh, retratados por el famoso fotógrafo documental y reformador social Lewis W. Hine. Las reveladoras imágenes de Hine sobre las adversas condiciones del trabajo industrial en las primeras décadas de este siglo dieron como resultado la promulgación de leyes reguladoras de la seguridad laboral y el trabajo de los niños. Buena parte de la producción que en esta escena se hace con el esfuerzo muscular, se realiza ahora con máquinas. La fotografía, tomada hacia 1910, que procede de los archivos del Comité Nacional sobre el Trabajo de los Niños, forma parte de la Colección Fotográfica Edward L. Bafford, de la Universidad de Maryland, del condado de Baltimore.**

ver la estrecha relación existente entre el tipo de trabajo efectuado por los hombres y su calidad de vida.

David Ricardo, que comenzó a estudiar política económica después de leer *La riqueza de las naciones*, en 1799, establecería la escuela clásica de economía, o de libre mercado. A pesar de su énfasis casi exclusivo sobre el mercado competitivo, ya advirtió que una creciente confianza en la mecanización podría no resultar necesariamente un bien absoluto. En determinadas circunstancias, los trabajadores desplazados por las máquinas podrían no encontrar nuevo empleo. Lo que era bueno para el empresario, concluía Ricardo, podría ser malo para el trabajador.

Karl Marx dedicó algunos de sus más impresionantes capítulos de *El Capital* a describir los efectos adversos de la

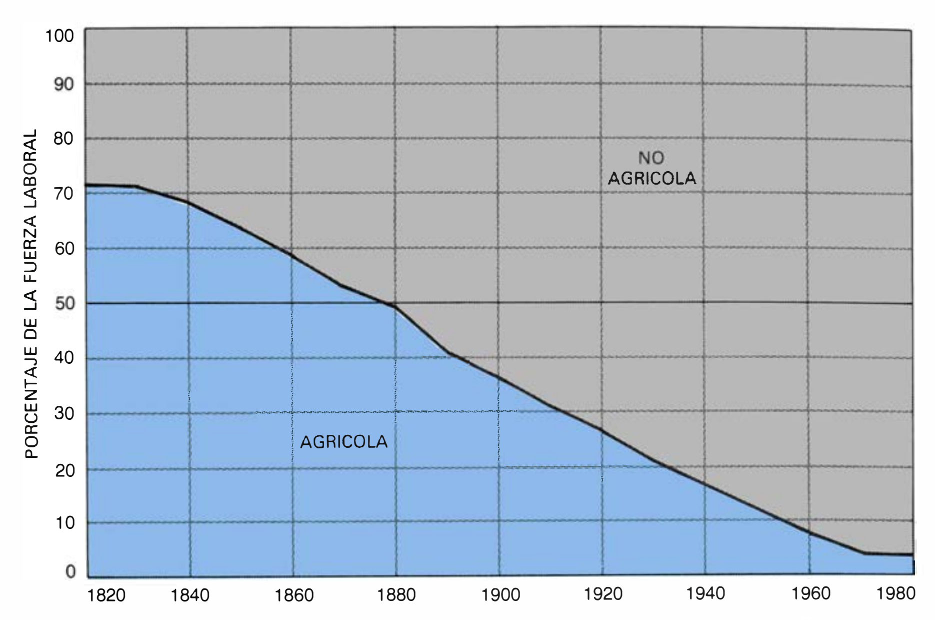



**MOLINO MECANICO DE HARINA patentado por Oliver Evans, de Filadelfia, en 1790. Se la reconoce como la primera fábrica automática del mundo y la pionera del actual sistema de producción en cadena. Este dibujo esquemático proviene de *The Young Mill-Wright and Miller's Guide* [*El joven molinero y la guía del molinero*] editado por Evans en 1795. El molino podía alimentarse de grano desde un barco o desde un carro. En el segundo caso, el carretero vertía el grano en un tubo conductor (*1*), desde donde pasaba a una balanza (*2*); aquí se pesaba antes de caer en un pequeño granero (*3*). El grano se llevaba entonces a un cubo transportador vertical (*4, 5*), que lo subía a la planta más elevada. Una vez allí, un tubo conductor acoplado a una grúa lo depositaba en el granero principal de almacenaje (*6*), desde el cual podía llevarse a un granero colgante (*7*) que, además, alimentaba una piedra de molino (*8*) que servía para frotar o descascarillar el grano antes de su molienda. El grano frotado volvía a través de un canal especial (*líneas a trazos*) al primer granero, desde donde la cascarilla se aventaba, a través de una pantalla, hasta una zona contigua (*9*). El grano se elevaba otra vez a la planta superior y la grúa que portaba el tubo se volvía esta vez sobre un conjunto de dos tolvas-pantallas (*10, 11*) que alimentaban una criba giratoria (*12*). Desde ese lugar el grano descendía por una corriente de aire que provocaba un ventilador (*13*). El grano limpio y macizo caía por un embudo (*14*) hasta un transportador horizontal de tornillo (*15, 16*), que lo distribuía uniformemente a tres graneros colgantes (*7, 17, 18*), manteniendo un flujo constante de grano hacia las piedras de moler (*8, 19, 20*). La harina molida se movía a través de otro transportador horizontal de tornillo (*21, 22*) a un segundo cubo transportador (*23, 24*), que vertía dentro de una estructura rotativa llamada el chico saltarín (*hopper boy*) (*25*); este dispositivo servía, a su vez, para esparcir la harina, enfriarla y filtrarla lentamente, a través de unos agujeros practicados en el suelo, hacia un lugar llamado la zona tamizadora (*bolting chest*), donde se cernía por medio de un juego de mangas de tela rotativas llamadas rollos de tamizar (*bolting reels*) (*26, 27*). La harina superfina, recogida en un cajón de empaquetar (*28*), se llevaba a través de un tubo transportador (*29*) para llenar los barriles y cargarlos en el barco (*30*). El producto grueso se retiraba a través de otro tornillo transportador (*31*) a un granero (*32*) que también recogía el grano ligero impulsado por el ventilador; la corriente de aire lanzaba la cascarilla a mayor distancia y caía en una sección apartada dedicada a este fin (*33*). El producto grueso se reciclaba pasándolo a través de una puerta (*34*) hasta la parte baja del primer ascensor. El grano transportado por el barco podía descargarse de la bodega de varias maneras: por un transportador de tornillo articulado (*35, 36, 37*), por una transportadora de cubos de corta distancia con una polea fija en la parte superior (*38*) o por un largo ascensor exterior (*39*) que llevaba a la planta superior. La polea del ascensor externo estaba fabricada de tal manera que subía y bajaba en dos ranuras redondeadas (*41*); desde otro ángulo (*40*) se muestra el mecanismo para subir el ascensor sin tocar en el barco (*42, 43*). Un transportador de tornillo en la planta superior (*44, 45*) llevaba el grano al molino. Evans acabó el primer modelo de su molino en 1783 y, dos años más tarde, se construyó en Red Clay Creek, cerca de Wilmington, Delaware, una versión a tamaño natural que funcionó. El molino "reducía los gastos de mantenimiento, al menos, en la mitad".**

mecanización sobre las mentes y los cuerpos de los trabajadores, hombres, mujeres y niños en la Inglaterra de mediados del siglo XIX. (Comoquiera que las mujeres y los niños recibían salarios inferiores, fueron reemplazando a los hombres en muchas ramas de la industria, desde las minas de carbón hasta las fábricas de hilaturas.) De acuerdo con Marx, las máquinas, la propiedad privada y la competencia, en combinación, producirían en breve plazo la autodestrucción del sistema capitalista. El fin vendría cuando –decía Marx– unas máquinas más modernas y poderosas echaran del trabajo a una proporción de mano de obra de tal magnitud, que los fabricantes no podrían contar ya con suficientes consumidores para adquirir los bienes que tales máquinas produjeran. Con la ventaja que da la perspectiva histórica, hay que decir que Marx fue mejor crítico que profeta. Percibió correctamente que la Revolución Industrial estaba dañando a millones de trabajadores, pero no tuvo en cuenta los importantes beneficios, en forma de bienestar, que ellos y las generaciones siguientes de trabajadores disfrutarían merced a la creciente productividad que resultaba de la mecanización.

Thorstein Veblen hizo de la técnica la base de su penetrante análisis del moderno capitalismo, desde su primera obra de importancia, *The Theory of the Leisure Class* [*La teoría de la clase ociosa*], publicada en 1899, hasta su última *Absentee Ownership and Business Enterprise in Recent Times* [*La propiedad de los absentistas y la empresa comercial en los últimos tiempos*], publicada en 1923. Veblen razonaba con lógica que la manera en que el trabajo se organiza para ajustarse a los requerimientos de las máquinas determina en el hombre su forma de pensar y actuar.

En general, sin embargo, la mayoría de los economistas propugnadores del mercado libre, marxistas y demás no han concedido a la técnica su verdadera importancia. Los teóricos clásicos y sus seguidores han construido sus sistemas y sus suposiciones explicando, cada vez con mayor complejidad, cómo se interrelacionan la demanda, la oferta y los precios en mercados abiertos para establecer o restablecer el equilibrio. Siguiendo esta línea estática de investigación, han tenido que pasar por alto la influencia de factores dinámicos, tales como los cambios en la demografía, en la tecnología y en las preferencias. Además, a causa de su limitada visión del rendimiento, examinan atentamente los márgenes a partir de los cuales resulta rentable a un empresario instalar maquinaria en sustitución de trabajadores, pero raramente prestan atención a otros factores de interés: la calidad del lugar de trabajo y del hogar, factores ambos influidos cada vez más por la máquina.

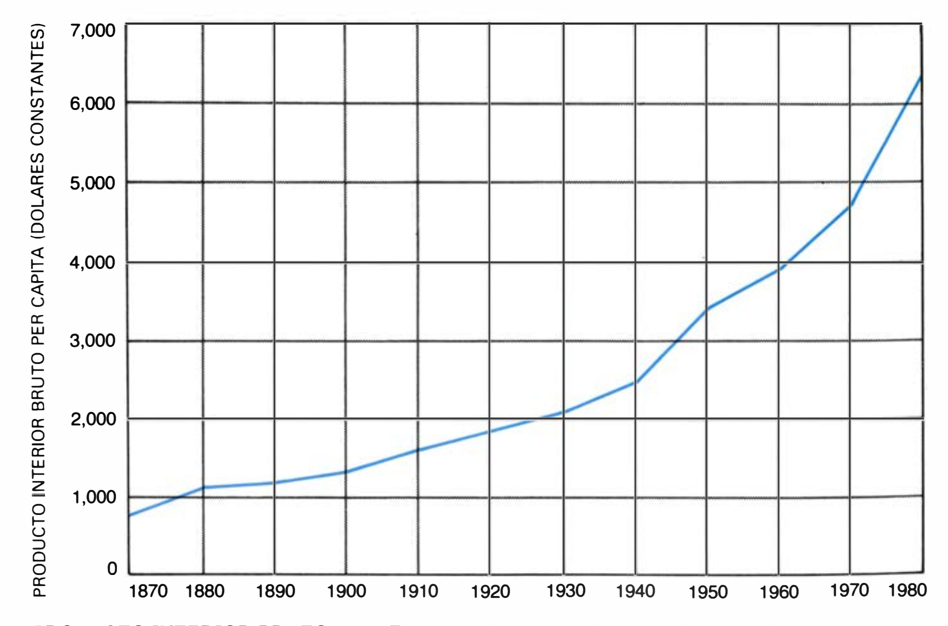



**DESCENSO A LO LARGO DE LA HISTORIA de la proporción de la fuerza laboral norteamericana empleada en la agricultura. Refleja el alto grado de mecanización alcanzado en el campo en el último siglo y medio. En años recientes, el agro ha adquirido un nivel de mecanización mayor que la propia industria.**

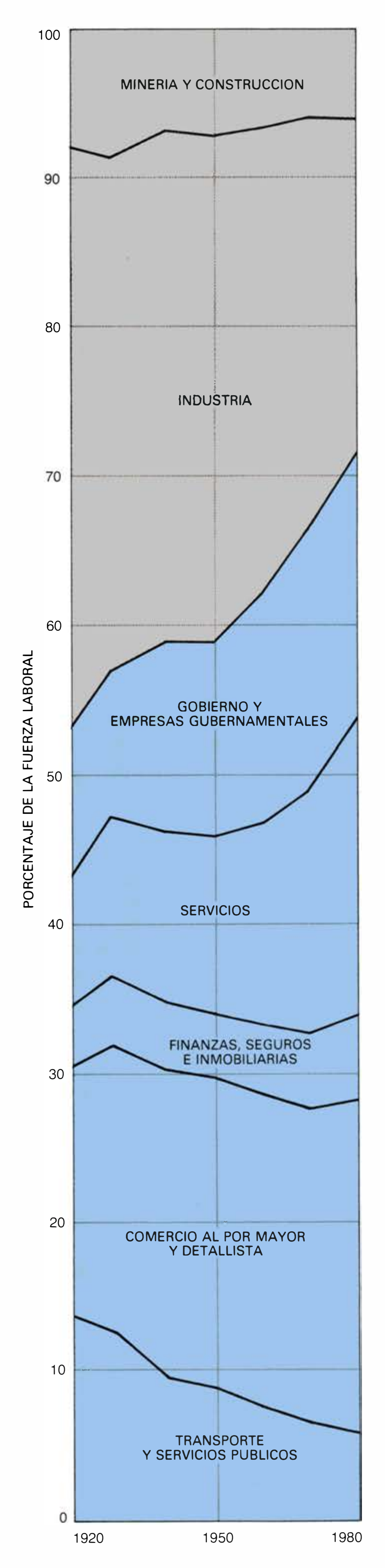
Las limitaciones manifestadas por los economistas a la hora de abordar la mecanización del trabajo explican muchos de los errores de diagnóstico y acción que han caracterizado a la economía estadounidense desde la segunda guerra mundial. Se entenderán mejor las complejas relaciones entre la mecanización y el proceso económico si pasamos revista a un puñado de enfoques estrechos, de vuelo corto, y las políticas inadecuadas que engendraron.

En el año 1947, los Estados Unidos emprendieron el plan Marshall. A condición de que los países de Europa occidental –tanto vencedores como vencidos– convinieran en colaborar unos con otros, Norteamérica prometió suministrarles el capital necesario para acelerar la reconstrucción de sus destrozadas economías. En pocos años, Europa occidental había cambiado de faz.

El éxito del plan Marshall ejerció un influjo decisivo en la implantación de programas de asistencia económica a pequeña escala destinados a acelerar la industrialización de los países menos desarrollados. También ellos se convirtieron en los beneficiarios de las expor-




**PRODUCTO INTERIOR BRUTO de los Estados Unidos; ha crecido a un ritmo aproximadamente constante, medido sobre una base per cápita. Existe una gran preocupación por el agudo descenso de la productividad que se observa últimamente, medido en función de las unidades de trabajo empleadas.**




taciones norteamericanas de bienes de capital. En este caso, sin embargo, el nivel alcanzado fue mucho más modesto. Sólo una fracción muy pequeña de la llamada asistencia económica se dedicó al desarrollo propiamente dicho. Las exportaciones norteamericanas de bienes de capital adoptaron a menudo la forma de armas y de dólares que engrosaron la fortuna personal de los dirigentes en el poder. Unicamente de forma retrospectiva han podido entenderse las razones de los distintos resultados. En Europa, la guerra había destruido fábricas, centrales de energía, ferrocarriles y otros servicios, pero la experiencia necesaria para ordenar una economía industrial había permanecido intacta. Esta experiencia, acumulada durante un siglo o más, se puso manos a la obra para obtener el rendimiento de las nuevas máquinas en cuanto se instalaron. En la mayoría de los países tercermundistas faltaba este fondo de experiencia y, como resultado de ello, muchas de las máquinas importadas sólo se instalaron después de un considerable retraso; con frecuencia trabajaron muy por debajo de su capacidad y con un mantenimiento muy pobre.

Un segundo ejemplo de incapacidad para centrar la política económica en la mecanización nos lo ofrece la industria automovilística norteamericana. Hasta sus recientes dificultades, ese sector aparecía como la punta de lanza de la economía, la demostración de que los Estados Unidos eran el líder tecnológico entre los países desarrollados. Año tras año aumentaban las ventas y los beneficios de esa industria y, aunque las condiciones de trabajo en las plantas de montaje eran a menudo desagradables y difíciles, la mano de obra estaba bien pagada y recibía excelentes prestaciones. El error de lo que estaba sucediendo en Detroit tenía su origen en una incapacidad colectiva para reconocer que la continua y alta rentabilidad del sector se basaba primordialmente en el diseño, la publicidad y la comercialización y no en avances de ingeniería y técnica de fabricación.

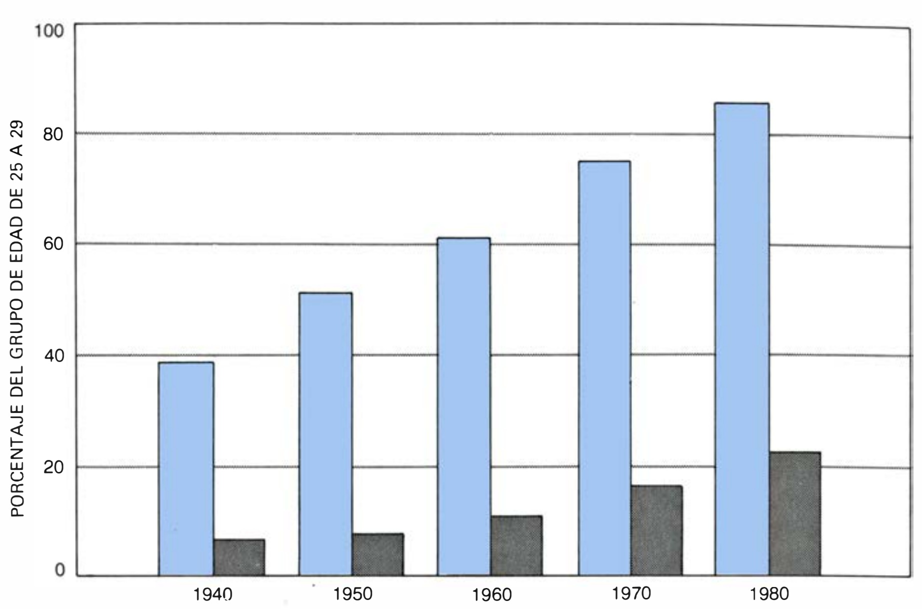
**CRECIMIENTO DE LOS SERVICIOS en la economía norteamericana representado en color en este gráfico que cubre el período 1920-80. Las subcategorías que se indican incluyen a todos los trabajadores asalariados (a tiempo total y a tiempo parcial) empleados en establecimientos no agrícolas (industria, minería y construcción) y los del sector servicios, definido en el sentido más amplio, de suerte que abarque a todas las empresas que no se dedican a la producción de bienes. (La subcategoría "servicios" se utiliza restrictivamente para designar a los trabajadores que facilitan servicios a los consumidores.) Además de los campesinos, se excluyen los propietarios, autónomos, trabajadores domésticos y empleados familiares sin salario.**

En 1962, el Congreso de los Estados Unidos, convencido de que la mecanización estaba provocando el desempleo de muchos trabajadores expertos que no serían nunca reabsorbidos por el mercado de trabajo, a menos que se les ayudara a adquirir nueva capacitación en otros sectores, aprobó la Ley de Desarrollo y Formación de la Mano de Obra. Esta ley, junto con su sucesora, la Ley Integrada de Empleo y Formación [*Comprehensive Employment and Training Act, CETA*], aprobada en 1973, supuso unos gastos por encima de los 80.000 millones de dólares hasta el comienzo de la administración Reagan, principalmente para ayudar a los pobres y a los menos favorecidos. Es dudoso, sin embargo, si incluso llegó al 1 por ciento del gasto la cantidad destinada al reciclaje y nuevo empleo de trabajadores que habían perdido sus puestos a causa de la mecanización, ya que tales trabajadores pudieron, hasta fechas recientes, encontrar una nueva ocupación por sus propios medios.

El ejemplo más cercano de confusión en materia de mecanización del trabajo procede de las políticas de economía nacional ostensiblemente dirigidas a la "reindustrialización" (por ejemplo, reducciones de impuestos para amortización acelerada de plantas y equipamientos, una medida que se esperaba iniciase un nuevo auge en las inversiones). Los Estados Unidos deben proseguir urgentemente con otras políticas, públicas y privadas, que, en teoría, permitan recuperar su mermado liderazgo en la fabricación de una amplia gama de productos industriales y de consumo, desde acero hasta automóviles y aparatos de televisión. Mucho se habla de la superioridad de las técnicas gerenciales japonesas y el peligroso descenso en la productividad de la industria norteamericana. Sin embargo, la cuestión está planteada y los elementos centrales son los mismos: el liderazgo estadounidense en tecnología ha declinado y existe un grave desajuste en las actitudes, conducta y rendimiento de los trabajadores.

Las estadísticas disponibles revelan que, sobre una base per cápita, los Estados Unidos se están acercando a su tendencia a largo plazo del producto nacional bruto (PNB): la cifra final de todos los bienes y servicios producidos en el interior del país. Las preocupaciones se centran en el reciente descenso, agudo, de la productividad (medida como la relación entre producción total y unidades de trabajo empleadas). Pero cualquier interpretación que se esboza queda enseguida enmarañada por un

sinfín de complicaciones: las horas de trabajo contabilizadas sobrepasan las horas reales trabajadas, exagerando los descensos registrados en la productividad; la economía norteamericana se ha desplazado rápidamente de la producción de bienes al campo de los servicios, un desplazamiento que se refleja inadecuadamente en el incremento de la producción; las estadísticas fallan también al no recoger en su debida forma los cambios en la calidad, las inversiones en el sector público y lo que está sucediendo al margen del mercado, especialmente en la "economía subterránea" y en la economía doméstica. Si se entendieran y tomasen en cuenta estas circunstancias, los resultados de la economía serían probablemente mejores, y posiblemente mucho mejores de lo que señalan las actuales estadísticas. Los estadounidenses quizás andan innecesariamente preocupados por un fenómeno que revela más las limitaciones del análisis económico y la medición estadística que el estado real de la economía.




**NIVEL EDUCATIVO de la población norteamericana, que se ha elevado notablemente en las últimas décadas. Las barras de color indican los que, en el grupo de edad de 25 a 29 años, han finalizado la segunda enseñanza. Las barras grises corresponden a quienes han obtenido un diploma universitario. Entre 1940 y 1980, el número medio de años de escolaridad cursados creció desde 10,3 hasta 12,9.**

El hecho cierto es que la mecanización ha seguido desempeñando un papel esencial en la transformación de la economía occidental en el último medio siglo, como lo hizo en el siglo y medio que le precedió. Nuevas y mejores máquinas han contribuido a reducir la semana laboral, de 44 horas en 1930 a menos de 42 en nuestros días. Al mismo tiempo, la mecanización ha contribuido a mayores ganancias en el precio del trabajo: el salario medio en la industria se ha elevado, de 1,60 dólares por hora entonces, a 3 dólares ahora (en dólares constantes de 1967). No se incluyen aquí los beneficios marginales, los cuales han crecido en promedio hasta alrededor del 35 por ciento del salario base. Es más, algunos economistas han llegado a estimar que la clave del progreso económico descansa menos en la acumulación de capital físico que en la ampliación y profundización del capital humano, ya que sólo el talento humano es capaz de inventar, adaptar y mantener las máquinas.

Parte del problema estriba en que la mayoría de los economistas, con su fuerte tendencia en favor del mercado competitivo, no han prestado una adecuada atención a la contribución del sector público en el impulso del crecimiento del capital humano. La aportación pública ha revestido formas dispares: el "G.I. Bill of Rights" de 1944 (Norma del Congreso Norteamericano por la que se establece una serie de derechos en favor de los que se licencian del Ejército), la expansión de la educación superior pública, la financiación federal a la investigación y el desarrollo, sin olvidar la abultada cantidad de programas de formación especializada, creados como subproductos de los esfuerzos para robustecer el poderío militar del país y desarrollar la energía nuclear, construcción aeronáuticas, ordenadores, industria aerospacial, comunicaciones y otras tecnologías a gran escala.

En el intervalo de treinta años que va de la elección del presidente Eisenhower a la elección de Reagan, casi se han doblado la renta neta individual y la familiar, expresadas en dólares constantes. Los sindicatos se han convertido en un bloque destacado en el panorama industrial (aunque sus afiliados, en cuanto parte del total de la fuerza laboral, han disminuido desde 1955) y un cuadro de directivos profesionales con formación superior han tomado el mando de la mayoría de las empresas norteamericanas. Resultaría paradójico que, mecanización aparte, estos cambios no hubieran dejado su huella en el comportamiento de los trabajadores, dentro y fuera del trabajo.

Hay que tener en cuenta también otros factores: la repetida participación del país en guerras exteriores, la creciente amenaza de conflicto nuclear, rápidos cambios en los valores esenciales y en la conducta, que han afectado a aspectos de la vida que van del sexo a la religión, y el creciente escepticismo y desafío a la autoridad y el orden establecido. Sólo aquellos economistas que creen que todo en la vida viene determinado por las leyes del mercado intentarán explicar las dificultades en que se encuentra la economía estadounidense en 1982 como el resultado de una pérdida de la ética del trabajo. Para los luditas, el malo era la máquina; para los partidarios a ultranza del mercado libre, el malo de la película es el trabajador.

De los tres temas que mencioné al comienzo, el segundo es la medida en que la mecanización ha contribuido a cambiar la economía norteamericana desde la segunda guerra mundial. De los 41,6 millones de personas empleadas en 1940 (excluyendo los trabajadores autónomos y el servicio doméstico), el 54 por ciento se ocupaba de la producción de bienes: en la agricultura, minería, construcción y fabricación. La mecanización había hecho antes firmes avances en los estados cerealistas del medio oeste, pero sólo tenía una presencia menor en los cultivos algodoneros del sudeste. En opinión del presidente Roosevelt, el sur constituía el problema económico número uno del país. Se ajustaba al postulado marxista de que el excedente de mano de obra se concentraría en el campo, viviendo en el límite de subsistencia y esperando una oportunidad para trasladarse a los centros urbanos cuando los empresarios necesitaran más obreros. A la altura de 1940, cuatro de cada cinco ciudadanos negros todavía vivían en el sur, la mayoría de ellos en régimen de aparcería.

La segunda guerra mundial supuso un cambio radical. Muchos negros entraron en las fuerzas armadas; otros se mudaron al norte y al oeste, donde los empresarios se enfrentaban ante una creciente escasez de mano de obra;

otros, incluso, se fueron a ciudades sureñas, muchas de las cuales se estaban transformando por la inyección de dólares militares. Hubo zonas rurales que soportaron un éxodo masivo de mano de obra excedente, estableciendo la base para la acelerada mecanización de la agricultura. Por paradójico que pueda parecer, la agricultura está ahora considerablemente más mecanizada que la industria.

En esas mismas cuatro décadas, la mecanización realizó rápidos progresos en la minería de la hulla; como resultado de dos factores: el desarrollo de la minería a cielo abierto en el oeste y la decisión del Sindicato de Trabajadores de la Minería, dirigido por John L. Lewis, de preferir la subida de salarios a la creación de puestos de trabajo. A pesar de la extendida creencia de que los sindicatos poderosos han inhibido la mecanización en la industria de la construcción, los datos, desde la mecanización en las excavaciones hasta el prefabricado de estructuras, apuntan hacia señalados avances en la aplicación de técnicas muy elaboradas. Aunque algunos sindicatos de la construcción han tenido fuerza suficiente para retrasar la introducción de nuevas máquinas o impedir que las mismas funcionasen a pleno rendimiento, estas tácticas dilatorias han estimulado, en esos casos, el crecimiento de la industria no sometida a la presión sindical, donde los contratistas han mecanizado sin interferencias.

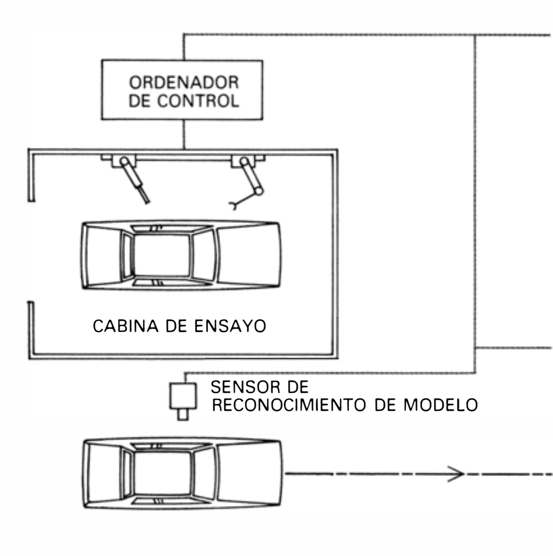
En el momento álgido de la eclosión traída por la guerra, los sectores de producción de bienes de la economía norteamericana representaban el 69 por ciento de la mano de obra ocupada. En 1980 contabilizaban el 32 por ciento. El cambio más relevante en los sectores productivos de bienes fue el descenso del número, absoluto y relativo, de personas que trabajaban en el campo. El segundo cambio a destacar fue el descenso relativo en la industria, donde el empleo creció desde un 34 por ciento del total de puestos de trabajo no agrícolas en 1940, hasta un 41 por ciento en 1943, para bajar al 22 por ciento actual.

El descenso de la ocupación en los sectores de la economía productores de bienes fue en un principio igualado, para luego verse ampliamente sobrepasado, por el incremento en el sector de los servicios. Entre 1940 y 1980, el nivel de empleo en dicho sector se elevó del 46 por ciento del total de ocupación al 68 por ciento. De todos los nuevos empleos añadidos a la economía en el período de 1969 a 1976, el 90 por ciento lo fueron en servicios.

¿Cuáles fueron las razones de este cambio? Las respuestas difieren según a quién se dirija la pregunta. Algunos economistas niegan que se haya producido una alteración significativa; lo más que aceptan es que ha habido un lento y constante crecimiento en el sector de los servicios. Otros reconocen que se ha producido un cambio, pero lo atribuyen, en primer lugar, al espectacular avance en salud, educación y servicios conexos. Confían en que el crecimiento se estabilizará, e incluso descenderá, ya que el índice de nacimientos ha bajado y la administración Reagan está presionando para reducir el nivel de gastos del gobierno. Otros, incluyendo nuestro propio grupo de la Universidad de Columbia, están convencidos de que ha habido una inclinación de la demanda hacia un aumento en los servicios de consumo y que, lo que adquiere una importancia mayor, se han producido cambios en la forma en que los bienes se elaboran, impulsando una amplia expansión de "servicios de producción". Thomas M. Stanback, Jr. y sus colegas, de Columbia, en su reciente libro *Services/The New Economy* [*Servicios/La Nueva Economía*], señalan que el valor añadido de tan sólo estos servicios de producción –financieros, fiscales, legales, comerciales, de asesoramiento a empresas y comunicaciones– iguala el valor añadido de la totalidad de la producción industrial.

Una mirada a los cambios en la estructura ocupacional arroja luz, además, sobre las causas y consecuencias de los giros aquí señalados. Podría hacerse una comparación un tanto simplista entre trabajadores de oficina, trabajadores de fábrica y trabajadores del sector servicios (designados restrictivamente como aquellos que suministran servicios primarios a los consumidores). En 1940, los porcentajes empleados en estas clases de ocupación eran, respectivamente, del 31, 57 y 12 por ciento; en 1980, eran del 54, 34 y 12 por ciento. Máquinas mayores y mejores en la agricultura, en las minas, en las fábricas y en la construcción exigen menos operarios. En las modernas refinerías de petróleo, plantas químicas y altos hornos abunda la maquinaria y escasean los obreros, gran parte de los cuales trabajan en oficinas. La General Electric Company, que fabrica decenas de miles de productos diferentes, desde turbinas hasta bombillas eléctricas, ocupa sólo el 40 por ciento de su plantilla en los procesos de producción propiamente dicha. El resto trabaja en lo que podría clasificarse, con mayor propiedad, servicios productivos interiores: de contabilidad a marketing.

Si atendemos a los cambios cualitativos indicados como consecuencia del desplazamiento del empleo desde el sector de los trabajadores de fábrica al de oficina, se observa un crecimiento impresionante en los dos grupos que en las categorías normalizadas de las estadísticas del Departamento de Trabajo tienen una renta y un estatus más alto: asalariados profesionales, científicos y técnicos, y asalariados de dirección y administración. Entre 1940 y 1980, el primer grupo subió del 7,5 al 16 por ciento de la mano de obra ocupada, y el segundo grupo bajó del 20 al 13 por ciento. Estas dos últimas cifras esconden una transformación cualitativa mayor, ya que engloban indiscriminadamente a propietarios y gerentes de pequeñas empresas, cuyo número ha descendido, y a administradores de grandes compañías y otros de alto nivel, cuyo número ha aumentado.



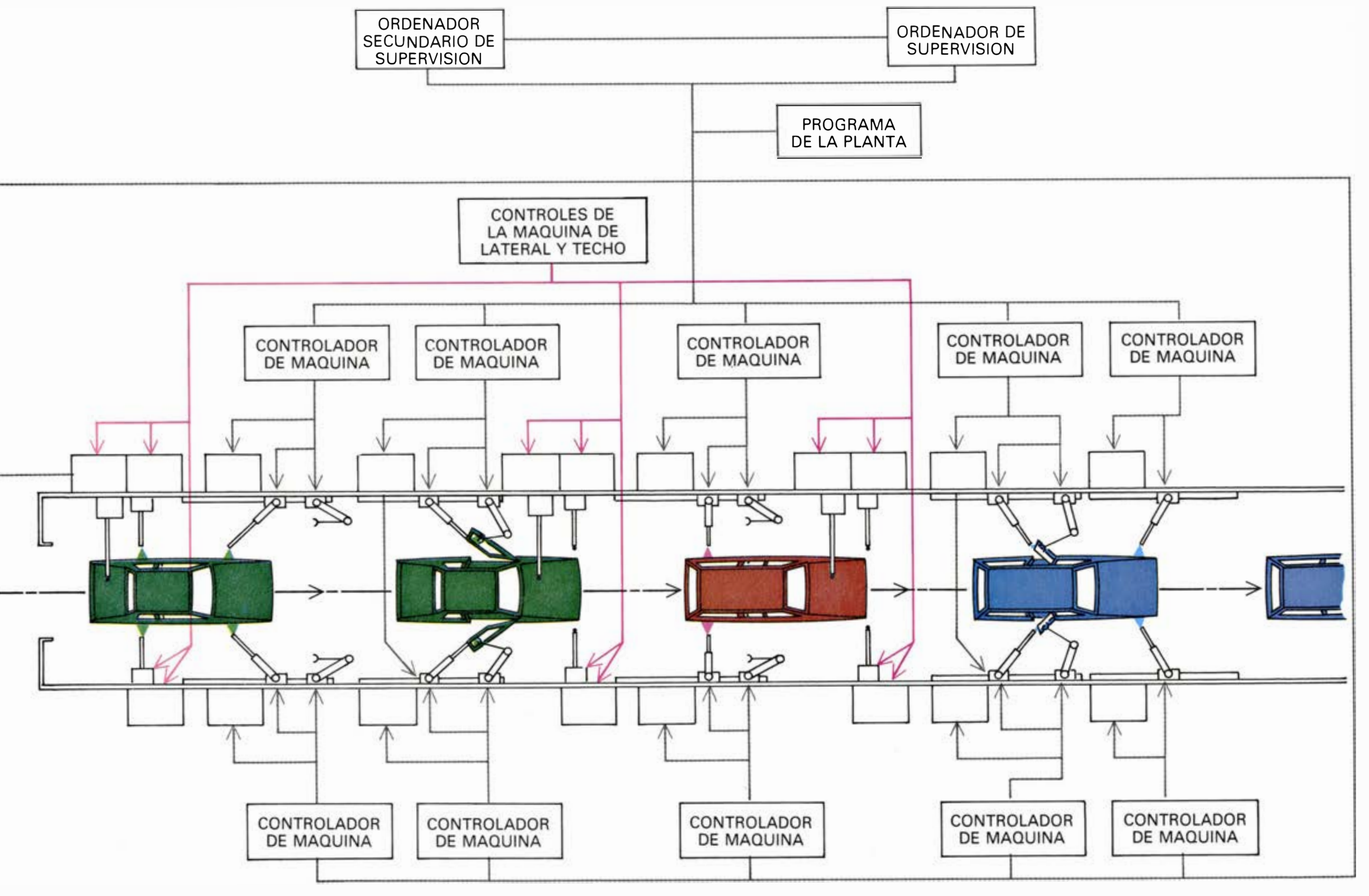

**MECANIZACION TOTAL de un nuevo sistema para pintar carrocerías de automóviles y camiones ligeros con pulverizador. Permite prescindir de la mano de obra en una faena particularmente desagradable. El diagrama muestra los niveles de mando del Sistema de Pintura por Control Numérico, que ha desarrollado en los últimos siete años la General Motors Corporation; recientemente se ha instalado en la planta de montaje de GM en Doraville, Georgia. El sistema mostrado consta de tres pares de difusores automáticos de pulverización, de movimiento fijo, para el techo y los laterales,**

La confirmación de los radicales cambios operados en la estructura ocupacional se puede encontrar en el extraordinario aumento conseguido en el campo de la educación de los miembros más jóvenes de la clase trabajadora: aquellos que están entre los 25 y los 29 años de edad. No es necesario acudir al burdo punto de vista de muchos teóricos del capital humano de que la preparación educativa está determinada únicamente por la valoración que la gente da a sus proyectos de carrera y renta para ver que los factores tienen una definitiva correlación. Debe destacarse el gran crecimiento registrado en la proporción de aquellos que, en el grupo de edad 25 a 29, poseen un título universitario medio o superior: uno de cada 16 en 1940, frente a casi uno de cada cuatro en 1980.

Hay una predilección entre los economistas, que se remonta a Adam Smith, por considerar que sólo el trabajo que se traduce en un resultado físico es productivo, y que los servicios, que son por naturaleza efímeros, son improductivos. Smith, reaccionando contra el excesivo número de sirvientes entre los ricos, se equivocó y confundió a sus seguidores sobre la naturaleza de los servicios. Pero los economistas han terminado por darse cuenta de que un artista que deleita a miles de personas o un cirujano que devuelve la salud a centenares deben considerarse productivos. Mas los discípulos de Smith se han preocupado de depurar el modelo industrial. Con escasas excepciones, la producción de servicios se ha minusvalorado o no se ha tenido en cuenta.

Este prejuicio contra los empleos en el sector de servicios se reforzó con la generalizada creencia de que la mecanización, la clave de la productividad y el desarrollo, tenía poco o ningún papel que desempeñar en la producción de servicios. De hecho, algunos economistas contemporáneos han acotado los servicios con gran inversión de capital, –transportes, comunicaciones y plantas eléctricas– y los tratan como parte integrante o estrechamente vinculada a la industria convencional.

Un nuevo prejuicio ha tomado cuerpo. Muchos servicios están más enraizados en el sector público que en el privado; los ejemplos significativos son la educación, la salud y otras funciones esenciales (orden público, servicios contra incendios y de saneamiento). La teoría económica basada en el mercado competitivo poco puede aportar a la explicación de tales servicios públicos. Sesgados por la tradición, los economistas han tardado en comprender el desplazamiento de las economías modernas hacia los servicios y, en parti-




**modelo ya de amplia utilización para tales operaciones de pintura; cinco pares de máquinas pintoras de control numérico (cuatro pares equipados con mecanismos para la apertura de las puertas) y una cabina de ensayo, fuera de línea, que alberga otra máquina de pintar controlada numéricamente con su correspondiente abridor de puertas. (El número de puntos de pintura puede variar de una planta a otra; un sistema instalado actualmente tiene 18 de estas nuevas máquinas.) El pintor de control numérico es un mecanismo de siete ejes, accionado hidráulicamente y controlado por servomecanismos. Su función es pintar todas las superficies externas y algunas internas que no cubren las bocas de pintura del techo y los laterales. El alcance de la máquina le permite pintar carrocerías de todos los tamaños, desde subcompactos a berlinas de gran tamaño, rancheras y furgonetas. La máquina auxiliar, la abridora de puertas, tiene dos ejes servocontrolados y un eje neumático. El ordenador de supervisión vigila cada carrocería a través de la cabina de pintura y envía la debida información de situación a cada controlador de máquina en el momento apropiado. Un sistema de reconocimiento de carrocerías las identifica cuando entran en la cabina de pintura. La información registrada se remite al ordenador de supervisión y se comprueba con el programa de la planta para determinar el color y otras características opcionales del automóvil. Con el fin de "enseñar" al pintor una nueva rutina, un operario de la cabina de ensayo fuera de línea toma una manilla ligada al extremo del brazo de la máquina pintora y resigue con las pistolas pulverizadoras los movimientos de la pintura, registrando las posiciones del camino y señalizando los puntos de activación y paro. Los datos resultantes se almacenan en el ordenador.**

cular, hacia los relativos al sector público, servicios de producción y mecanización de grandes empresas de servicios.

La mayoría de los economistas dieron por sentado que las empresas de servicios continuarían, inevitablemente, siendo pequeñas, ya que los proveedores de los mismos tenían que intervenir de una forma personal en su relación con los consumidores: restaurantes, tintorerías, médicos o asesores fiscales. El modelo de empresa donde se ofrecen servicios dentro de una localidad pequeña no se ajusta a las cadenas de restaurantes de comidas rápidas, las cadenas hoteleras de ámbito mundial, las cadenas nacionales de supermercados y muchas otras empresas de servicios, nacionales e internacionales, que han conseguido mecanizar muchas de sus funciones esenciales, desde la financiera hasta la gestión de personal.

Como ya he señalado, el período transcurrido desde la segunda guerra mundial también se ha distinguido por un firme avance en la preparación educativa y el nivel de destreza de los trabajadores, reflejado en el crecimiento del número de administrativos y profesionales, científicos y técnicos. La cuestión que se plantea es si resulta más difícil en el sector de los servicios que en el de la industria ascender de un puesto a otro superior. Stanback está de acuerdo en ello. Pone como ejemplo al trabajador de una acería que comenzó a trabajar de aprendiz y pudo escalar, con los años y su pericia, niveles superiores. No es este el caso, observa, del técnico de laboratorio en un hospital o del oficial de un bufete de abogados. En apoyo de este argumento hay que reconocer que un título académico o profesional es requisito previo para luchar por muchos de los mejores empleos en el sector de los servicios. Por otro lado, parece que el talento es tan importante como un título formal en muchas ocupaciones, tales como publicidad, diseño y deportes. Bajo mi punto de vista el tema permanece abierto.

Estas últimas consideraciones enlazan con el tema que mencioné al principio: los efectos de la mecanización en el entorno laboral. En la medida en que cualquier generalización esté justificada, se puede mantener que la actitud convencional del trabajador norteamericano hacia las máquinas ha sido diferente de la del trabajador europeo. La mayoría de los trabajadores norteamericanos han observado una actitud positiva hacia los adelantos tecnológicos, viendo en ellos una aportación para que su trabajo resultara menos gravoso y una oportunidad para subidas salariales a través de una mayor productividad, y un modo de afianzar su estabilidad en el empleo mediante una mejor posición competitiva de sus empresas.

En los países europeos, con mercados más pequeños, la potencial inestabilidad en la situación laboral por culpa de nuevas máquinas ha tenido mayor presencia en el pensamiento y la dinámica laboral. El desempleo tecnológico se consideraba una amenaza por los principales sindicatos de la República Alemana de Weimar, en los años 20, y ni siquiera la resurrección económica de Alemania Occidental después de la segunda guerra mundial logró disipar ese temor. A principios de los años 60, el sindicato más fuerte de Alemania Occidental, el metalúrgico, fue el anfitrión de una conferencia internacional, de una semana, sobre mecanización y el desempleo involuntario que podría causar. El tema vuelve a estar, una vez más, entre los principales del orden del día de los sindicatos de Alemania Occidental, especialmente a causa del nivel de desempleo del país, desequilibradoramente elevado.

Marx denunciaba la deshumanización del trabajo en el que la máquina imponía el ritmo, una cuestión desenterrada en sucesivas generaciones por John Ruskin, Edward Bellamy y Emma Goldman y que se desarrolló, quizá más imaginativamente, en la película de Charlie Chaplin *Tiempos Modernos*. Sin pretender minimizar el problema de la tensión física y psíquica del trabajo en la cadena de montaje, hay que señalar que, en el momento de mayor implantación, menos de 1 por cada 15 o 20 trabajadores norteamericanos ganaban su subsistencia con semejante trabajo. Robert Schrank, cuyos *Ten Thousand Working Days* (*Diez mil días de trabajo*) constituyen la visión más completa de la variedad de ambientes laborales de la economía norteamericana contemporánea, adopta una actitud diametralmente opuesta. En vez de que la máquina domine la vida del trabajador, escribe, el grupo íntimo de trabajadores aprende a organizarse con el fin de ampliar su ración de libertad personal para hacer las cosas que más agradan a sus componentes: intercambiar chistes, gastarse bromas, jugarse el dinero, escabullirse del encargado y otras formas de vivir interrelacionados, aportando muy poco de sí mismos al cumplimiento de sus funciones.

Hace tres décadas, en el libro *Occupational Choice* (*Elección del trabajo*), mis coautores y yo distinguíamos tres compensaciones del trabajo: la intrínseca (la satisfacción del trabajo en sí mismo), la extrínseca (sueldos y otros beneficios) y la concomitante (relaciones interpersonales en el empleo y en el entorno laboral). Los que abogan por mejorar la calidad de la vida laboral ven mayores posibilidades de que los trabajadores logren incrementar las compensaciones intrínsecas y concomitantes. En mi opinión, exageran. La capacidad de tomar decisiones por los trabajadores en la fábrica o en una oficina está muy limitada. Una división del trabajo extrema se traduce, como Smith ya apuntó, en tareas rutinarias y repetitivas que están despojadas de funciones decisorias.

Aunque los sindicatos puedan haber mantenido posturas demasiado agresivas, su íntima convicción es que, más allá de presionar a la dirección para que haga el ambiente de trabajo más seguro, limpio y atractivo, hay muy poco que ésta pueda hacer para mejorar las compensaciones intrínsecas del trabajo. En consecuencia, los sindicatos han presionado y continuarán haciéndolo en la línea de mejorar las compensaciones extrínsecas: seguridad laboral, justicia en el sistema de ascensos, participación vía sindical en medidas disciplinarias y despidos, mejoras salariales y otros beneficios económicos y más tiempo libre.

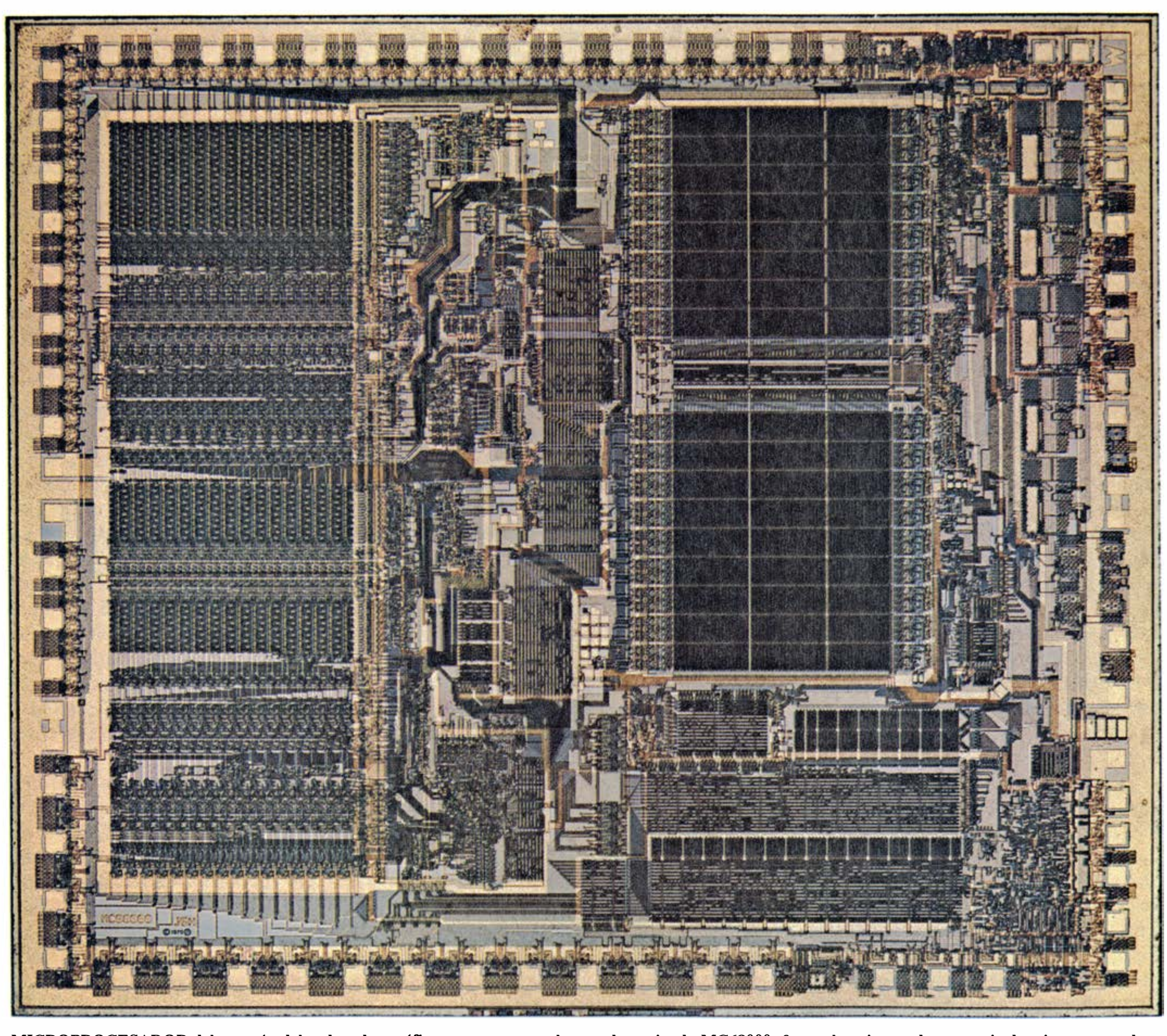
Como mis colegas Ivar Berg, Marcia Freedman y Michael Freeman han demostrado en su libro *Managers and Work Reform* (*Los directivos y la reforma del trabajo*), gran parte de la inquietud que rodea a la economía norteamericana depende de las expectativas que tienen los trabajadores sobre sus puestos de trabajo; existe el peligro real de que muchos estén sobreeducados para la función que se les asigna. Además, buena parte de la insatisfacción no nace de la limitada participación en las decisiones que afectan a su trabajo, sino de la frustración con respecto a directivos que no cumplen su misión con eficacia.

Buena parte del análisis anterior sobre el lugar de trabajo, las motivaciones del trabajador y la calidad de la vida laboral se ha hecho atendiendo a lo que constituye una fábrica moderna. Ahora bien, puesto que la mano de obra está mayoritariamente empleada en el sector de los servicios, conviene detenerse en algunas consecuencias que en el futuro condicionarán la mecanización del ambiente de trabajo en ese campo.

A causa de la decisiva importancia de la calidad en el sector de los servicios, el control del trabajo y de los empleados coloca a los directivos frente a un nuevo y difícil reto. El trabajo en el sector servicios tiene unas dimensiones

y complejidad mayores que el de la fábrica, habida cuenta, sobre todo, de la proporción, mucho mayor, de profesionales, científicos y técnicos empleados en las industrias de servicios. El sello distintivo de este tipo de personas es que su formación les ha condicionado a decidir qué trabajo hacer, cómo hacerlo e, incluso, cuándo hacerlo. Los componentes de una facultad universitaria, aunque pertenezcan a un departamento, un consejo o una institución central, se consideran a sí mismos autodirigidos, individuos autónomos hacia los cuales el director, el decano y el presidente pueden dirigir sugerencias, pero no dar órdenes. Este modelo académico se va extendiendo, cada vez más, a la industria y al gobierno, a los laboratorios de investigación, a los empleados de grandes compañías y a las agencias del gobierno. Hay una tensión creciente entre la tradicional estructura jerárquica de las organizaciones y las implícitas (y cada vez más explícitas) exigencias de los profesionales de una mayor autonomía en su trabajo. Cómo se conciliarán estas exigencias con las formas tradicionales de dirección es algo que está por ver; y el proceso de conciliación puede resultar tan difícil como importante.

En el otro extremo de la escala laboral hallamos que el crecimiento en el número de puestos de trabajo en el sector servicios ha ido parejo al descenso en la fracción de mano de obra sindicada. Muchos observadores estiman que los sindicatos se van a debilitar cada vez más, a medida que persista el desarrollo del sector servicios. Aunque se trata de una posibilidad real, vale la pena considerar algunos factores que contradicen esa tendencia. En muchos empleos del sector servicios se pagan salarios bajos y los beneficios económicos son limitados. Cada vez más mujeres, concentradas en el sector servicios de salarios bajos, se incorporan a la fuerza laboral. La revolución de los ordenadores parece dispuesta a efectuar grandes incursiones en las oficinas, un dato amenazante para la seguridad en el empleo de muchos administrativos y oficinistas. La continua erosión de las ganancias reales de los trabajadores a causa de la inflación les hace receptivos a la sindicación. Es fácil quitar importancia al movimiento sindical, especialmente a la vista de su escaso éxito en lo que respecta a su propia reestructuración para afrontar los retos de una economía en mutación. Aunque los sindicatos lograran finalmente una importante penetración en el sector de los servicios, tendrían que enfrentarse



**MICROPROCESADOR del corazón del ordenador gráfico que aparece en la portada de este número, que almacena casi 70.000 transistores en una simple pastilla de silicio que mide escasamente seis milímetros de lado. La pastilla, denominada MC68000, forma la primera de una serie de microprocesadores integrados de 16 bit que tiene previsto desarrollar la Motorola Inc. Las zonas oscuras, arriba a la derecha, son los elementos de memoria del sistema.**

no sólo con las tradicionales exigencias de lograr mejores salarios y otros beneficios económicos para sus afiliados, sino también con el desafío de contribuir a un ambiente de trabajo más estimulante.

Veblen explicaba en cierta ocasión el éxito de Alemania Federal al adelantar al Reino Unido en la carrera industrial, refiriéndose a las ventajas de ser el segundo (o el tercero). El que llegaba más tarde no tenía que soportar el lastre de una maquinaria y unos usos mercantiles desfasados. Muchos analistas estadounidenses piensan ahora que Japón y las naciones líderes del tercer mundo tienen las mismas ventajas que gozó Alemania una vez. La analogía, aunque sugestiva, es falsa. Durante años, diversas actividades industriales se han trasladado a países de salarios bajos, no sólo desde Europa occidental y los Estados Unidos, sino también desde Japón.

Hay una inquietud general sobre los periódicos desequilibrios del comercio norteamericano de materias primas con el resto del mundo. En 1980, el déficit de tal comercio se elevaba a algo más de 25.000 millones de dólares. Pero esa no es toda la verdad. Los honorarios y royalties de las inversiones directas de los Estados Unidos en el extranjero ascendieron a casi 6700 millones de dólares, y las ganancias netas de las inversiones en el extranjero, sin contar aquellos honorarios, alcanzaron los 32.800 millones, con lo que resulta un excedente neto de más de 13.000 millones de dólares en bienes y servicios (haciendo un ajuste para el pequeño déficit neto en el factor transporte). Los bienes y los servicios no llevan vidas totalmente independientes y, como he señalado, los últimos han venido a desempeñar un papel mucho más importante en la producción de bienes. El reto que se plantea a la economía norteamericana no es el de la "reindustrialización", sino el de la "revitalización"; en ésta cumple a la mecanización desempeñar un papel protagonista en relación con los bienes y los servicios.

Es discutible si habría que acometer algunos planes de acción específicos para acelerar la revitalización, más allá del reconocimiento de que la economía de los Estados Unidos se desplaza cada vez con mayor fuerza hacia los servicios, y si los legisladores y administradores del país debieran tratar con equidad los distintos sectores dedicados a la creación y puesta en práctica de políticas comerciales, fiscales y de empleo. La administración Reagan, a través de la Oficina del Representante Especial para Negociaciones Comerciales, ha demostrado una creciente preocupación por el comercio internacional que afecta a los servicios. En el sector privado, un consorcio de las principales compañías de servicios, recientemente establecido, constituye otra prueba del grado de interés y de realizaciones en este sentido.

La conclusión de que el gobierno no debería entrar en la formulación de una política industrial no implica que debiera inhibirse y no empeñarse en la vigorización de la infraestructura industrial. Conviene recordar que el gobierno ha intervenido de una manera decisiva en el desarrollo de la agricultura y de las principales industrias del país: aeronáutica, energía nuclear, electrónica, ordenadores, comunicaciones, ingeniería genética y otras técnicas recientes. Si la actual administración sigue con su política, el apoyo a las universidades, la educación y formación de especialistas y la ayuda a la investigación y el desarrollo no se impulsarán de forma apropiada o con el ritmo adecuado. La invención, mejora y puesta en funcionamiento de máquinas por todo el sistema económico dependen del constante avance del conocimiento y de la existencia de suficientes técnicos. Si el país tuviese que esperar a que las grandes empresas formasen su propio personal técnico desde la base, se tardaría demasiado. Aun cuando quisieran hacerlo, no podrían. Los ideólogos pueden extasiarse ante las virtudes del mercado de libre competencia, que evidentemente tiene mucho que alabar, pero la economía estadounidense, para bien o para mal, es un sistema pluralista donde convergen relaciones complementarias entre el gobierno, las instituciones sin ánimo de lucro y las empresas privadas. Uno de ellos solo, abandonado a su propia iniciativa, no podría prosperar en un mundo de compleja y refinada técnica.

No sería correcto finalizar este prefacio a una gavilla de artículos sobre la mecanización del trabajo sin considerar algunas de sus consecuencias que puedan acarrear problemas. Me limitaré a las que afectan a la mujer y a los que no han conseguido la formación suficiente.

Por lo que concierne a la mujer, es indudable que la mecanización ha preparado el camino para que muchas salgan de los límites del hogar, al facilitar electrodomésticos que han aliviado las tareas de la casa y, lo que es igualmente importante, al cuestionar el criterio de la fuerza física como característica definitoria de muchos empleos. El positivo papel de la mecanización en la liberación de la mujer ha tenido poca o ninguna influencia, sin embargo, en tendencias no previstas: así, el peligroso aumento del número de familias encabezadas por mujeres, la ingente cantidad de jóvenes educados sólo por la madre y la inmensa porción de familias que viven en la pobreza o la miseria. Estas tendencias sólo pueden ignorarse en una sociedad indiferente a las privaciones humanas y despreocupada de su propio futuro.

Tanto antes como después de la introducción de maquinaria, todas las economías hubieron de enfrentarse con dificultades para ofrecer empleo a cuantos lo necesitasen. A pesar del buen historial de la economía estadounidense en la creación de empleos en las décadas recientes, Arthur F. Burns, antiguo presidente de la Junta de Gobernadores del Sistema de Reserva Federal, y actualmente embajador en Alemania Occidental, recomendaba en 1975, en vista de las constantes dificultades que tenían muchos jóvenes para encontrar y conservar un trabajo, que el gobierno federal se constituyera en "el empresario del último recurso", pagando salarios un 10 por ciento por debajo del salario mínimo legal. Hay quien cree que el desplazamiento de la economía hacia los servicios hace aún más difícil que los infraescolarizados encuentren un hueco. Una economía basada cada día más en trabajo de oficina no ofrece lugar para los analfabetos ocupacionales.

Una observación final sobre la relación entre la mecanización y el trabajo. Existe la impresión generalizada en los Estados Unidos y Europa occidental de que los jóvenes tienen un compromiso menor hacia el trabajo y una carrera del que tuvieron sus padres y sus abuelos, y que la raíz de este cambio radica en la pérdida de la "ética del trabajo". Rara vez se plantea el tema de por qué se ha perdido la ética del trabajo, aunque encopetados analistas apuntan una relación con la abundancia económica y el desplazamiento del interés de la familia al individuo.

Yo diría que el éxito de la moderna tecnología, que ha puesto a cada una de las superpotencias en condiciones de destruir a la otra (y a la mayor parte del resto del mundo), supone un desafio básico no sólo con respecto al trabajo sino a todos los valores humanos. Habrá que ver si el potencial de la moderna tecnología se traducirá, o no, en una bendición. Muchos jóvenes apuestan en contra de tal salida; otros esperan antes de hacer su modesta contribución.



# Mecanización de la agricultura

*Hace apenas un siglo, cada campesino abastecía a cuatro personas. En los países desarrollados, y merced a la mecanización, esa razón es ya de 1 a 78*

Wayne D. Rasmussen

Durante milenios la agricultura fue el medio de vida de casi toda la humanidad. Hasta mediados del siglo pasado, por ejemplo, el campo absorbía hasta el 64 por ciento de la mano de obra, en Norteamérica. (Todavía en 1930 el porcentaje de la población activa agraria en España era del 45 por ciento de toda la fuerza laboral.) Hoy, en cambio, y siguiendo con la comparación norteamericana, los campesinos rondan el 3,5 por ciento; lo que no empece que cultiven lo suficiente para abastecer las necesidades de toda la nación, con frecuentes excedentes para la exportación. En 1850, el trabajador del campo abastecía de alimentos y fibras a cuatro personas, en promedio; hoy esa proporción es de 1 a 78.

Gran parte de ese brusco incremento en el rendimiento hay que atribuirla a la mecanización, entendida en sentido amplio. El concepto de mecanización agrícola engloba, además de la adopción de nueva maquinaria, arados y segadoras por ejemplo, el desarrollo de variedades vegetales mejoradas, el uso de fertilizantes y plaguicidas, canalización del riego y establecimiento de una red de transporte para distribuir los productos cosechados, sin olvidar la electrificación de las áreas rurales. Innovaciones tecnológicas que han alterado profundamente la base social y económica del campo. La magnitud del cambio demográfico registrado sugiere, en efecto, que quizá sea la agricultura el sector donde la mecanización se ha dejado sentir con mayor incidencia.

La misma aparición de la agricultura, que se fecha hoy en torno al octavo milenio antes de nuestra era, transformó la sociedad humana. Y tal vez tengamos que remontarnos hasta entonces para rastrear el origen de la mecanización. Ceñiré, empero, mi atención a los doscientos últimos años. Y, dentro de ese estrecho marco temporal, me ocuparé sólo de la mecanización de las tareas agrícolas implicadas en los principales cultivos que se cosechan en los Estados Unidos.

El suelo agrícola siempre fue extenso en Norteamérica, al menos hasta nuestros días, y más barato que la mano de obra. Cualquier apero que permita laborar más tierra sin incrementar la mano de obra habría de ser, pues, bien recibido.

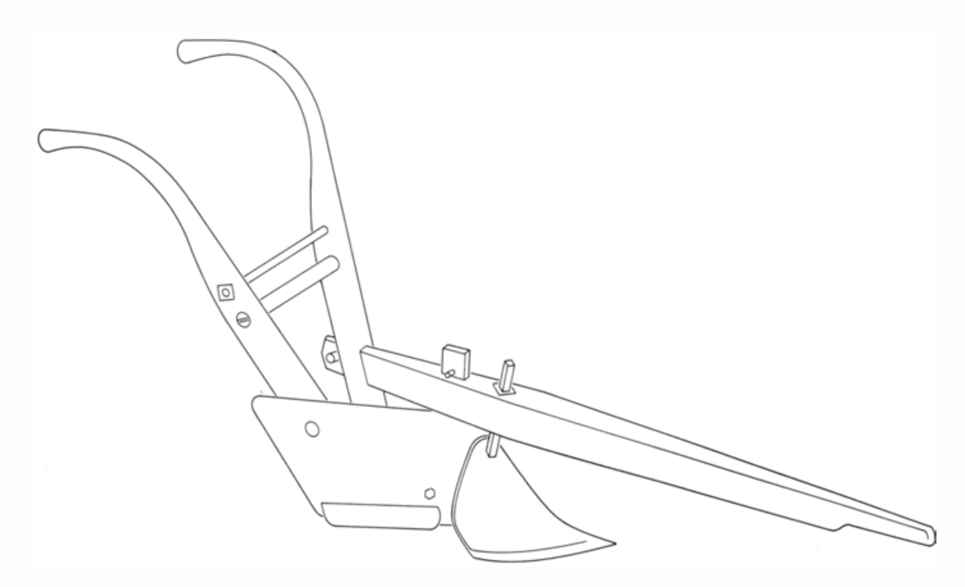
Por los años de la revolución estadounidense, la mayoría de las herramientas que se veían en el campo apenas diferían de las que se empleaban ya 2000 años antes. El trigo se seguía segando con la hoz, salvo contadas excepciones; ello obligaba a trabajar encorvado. Hasta fechas muy inmediatas a la revolución no empezó a generalizarse el uso de la guadaña, cuya larga hoja cortaba más plantas por pasada y su extenso mango permitía al campesino trabajar erguido. El siguiente adelanto sería el de la hileradora: guadaña cuya cuchilla llevaba incorporada una suerte de marco de madera. La guadaña hileradora cortaba el cereal o el heno de suerte que quedara amontonado en filas uniformes, lo que facilitaba su posterior recogida.

Habida cuenta de la importancia que la agricultura tenía en la economía del siglo XVIII, a nadie debe extrañar que ciertos próceres (algunos de los cuales poseían a su vez extensos latifundios) se interesaran por la adopción de nuevos equipos y formas de cultivo más rentables. George Washington encargó a Arthur Young, un inglés partidario de la modernización del campo, que le renovara su maquinaria y aperos de labranza. Thomas Jefferson aplicó su mente creadora a la invención de mejores herramientas y proyectó una sembradora, una grada para separar las fibras de cáñamo, una trilladora, un suplemento para el arado y una vertedera (la parte curva de la hoja del arado) que removiera la tierra con eficacia.

El avance más popular de los desarrollados en los años inmediatos tras la revolución fue el de la desmotadora de algodón. El algodón de la meseta norteamericana, variedad que se cultiva ahora como entonces en el sur, tiene las fibras adosadas a la semilla. La labor de extracción de la semilla resultaba muy pesada, exigiendo una aplicación dura e intensa. La desmotadora inventada por Eli Whitney en 1793 proporcionó a los agricultores una máquina práctica que separaba el hilo de las semillas; ello determinó un cambio espectacular en el campo sureño. La producción de algodón creció desde un volumen estimado en 10.500 balas, en 1793, hasta los cinco millones de 1861. La ampliación de la producción algodonera impulsó la expansión del sistema de plantaciones, así como la intensificación en la dependencia del trabajo de los esclavos. En este caso la mecanización (al menos en sus primeros pasos) no libró al campesino de su explotación, ni le llevó al paro; quedóse en perpetuar la más abusiva de las prácticas laborales.

Nueva Inglaterra vio su economía industrializarse rápidamente con la accesibilidad a un algodón barato y la adquisición de nuevas máquinas de hilar y tejer fabricadas en Gran Bretaña. La demanda de las urbes fabriles ofrecía a los agricultores de Nueva Inglaterra un mercado en expansión para sus produc-

**PROGRESIVA MECANIZACION del campo. De ello da prueba la fotografía de la página anterior, que muestra una máquina embaladora móvil para la recolección de zanahorias en una gran explotación. Los trabajadores de la derecha arrancan las plantas y quitan las coronas, introduciendo las zanahorias en un transportador que las carga hasta el lugar de limpieza, donde se quita la suciedad y las raíces secundarias y pasan un lavado. Los de la izquierda seleccionan las zanahorias, envasando las más pequeñas en bolsas de 450 gramos para la venta al por menor y las mayores en bolsas de 2,25 kilogramos para mayoristas.**



**EVOLUCION DEL ARADO en los Estados Unidos a lo largo de los últimos 200 años. Se representa en las distintas ilustraciones de esta página y de la siguiente. Este de arriba, que puede ser tirado por buey o por caballo, es el arado típico, de amplio uso en el siglo XVIII. Estaba construido de madera, salvo la reja.**

tos, lo que generaba estímulos para experimentar otras máquinas y otros métodos. Había más. Los efectos sociales y económicos derivados de la mecanización del campo empezaron a repercutir en otros sectores. El incremento de la producción agrícola aseguraba una oferta estable de alimentos a un coste razonable para los asalariados de las fábricas, avivándose así el desarrollo industrial. Crecimiento de la producción que permitió a los jóvenes abandonar las zonas rurales (la verdad es que se sentían casi forzados a ello) en busca de trabajo en las fábricas de las ciudades; la industria recibía de este modo una mano de obra barata, al tiempo que se aliviaba la presión demográfica de los pueblos.

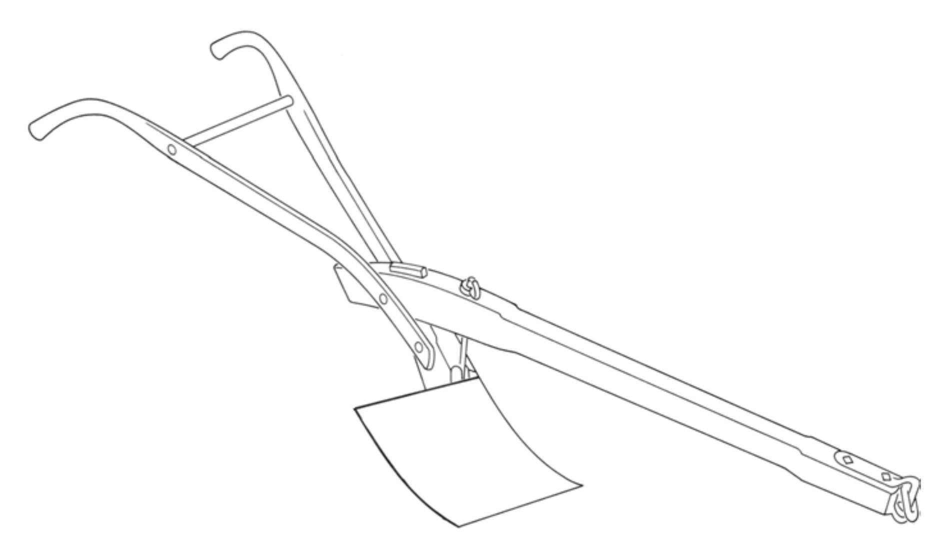
Por lo que se refiere al cultivo del algodón, la desmotadora rompió los límites del volumen de producción. Las cosechas de cereales, sin embargo, presentaban múltiples cuellos de botella; para librarlos de esos estrangulamientos hubieron de sucederse avances e innovaciones en la maquinaria. Los problemas empezaban en el surcado y no terminaban hasta la recolección.

La arada de la tierra atrajo la atención de muchos inventores. La primera patente norteamericana de un arado se concedió a Charles Newbold, de New Jersey, en 1797. Hecho de una sola pieza, el rejón era de hierro fundido (pero no el mango ni el tablón de unión al animal o la yunta). Al parecer, los campesinos eran reacios a comprar el arado por temor a que el hierro envenenara la tierra y propiciara el desarrollo de malas hierbas. En 1814, Jethro Wood patentó otro arado de hierro fundido, que modificó cinco años más tarde. El armazón de madera, la reja (parte que abre el surco) y el lateral (que guía y mantiene la linealidad del surco) se construían por separado, lo que permitía su adaptación o aprovechamiento de un arado a otro. El prototipo de Wood fue ampliamente aceptado.

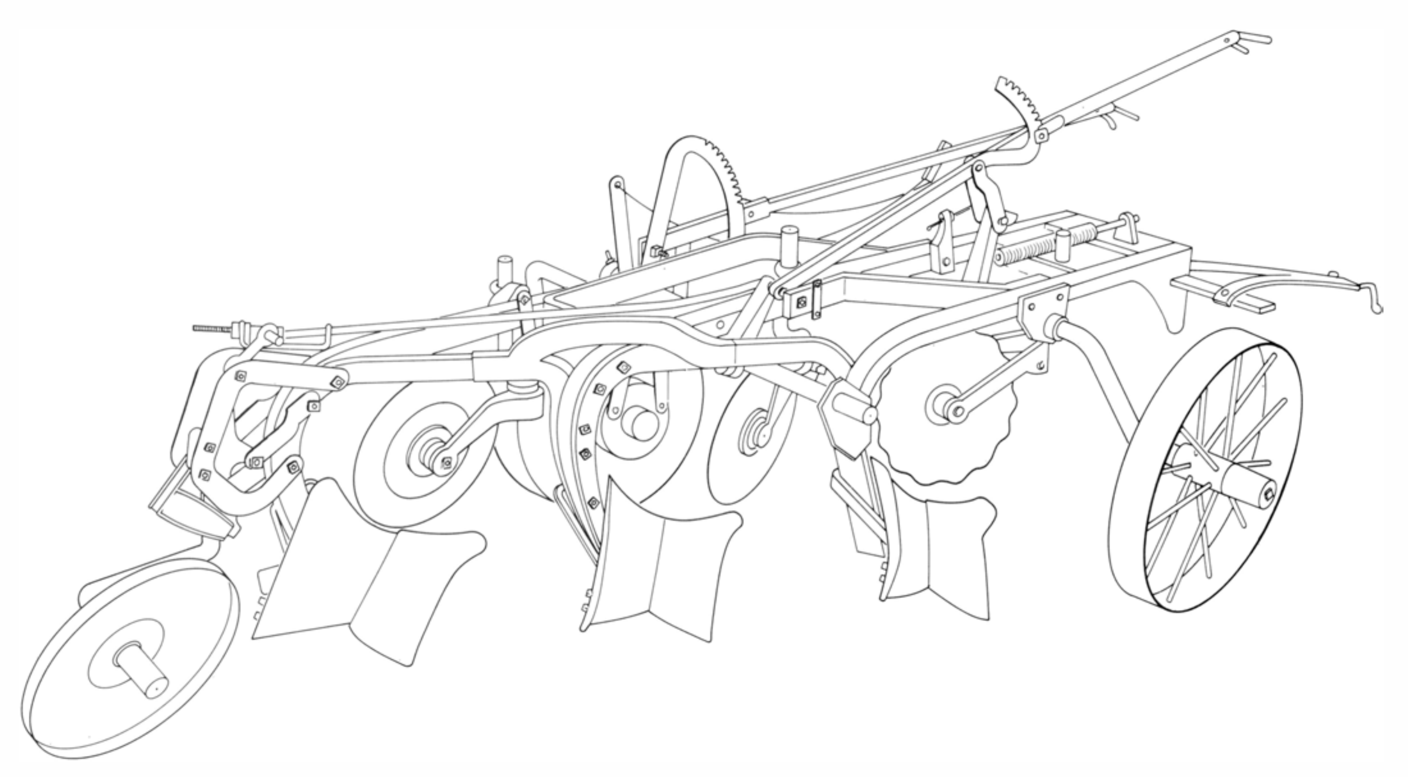
Ningún arado, ni el de madera ni el de hierro fundido, trabajaban bien en el pegajoso suelo de las praderas, que habían de convertirse en el núcleo principal del cultivo de los cereales en Estados Unidos. La tierra se adhería a la reja, en vez de resbalar lentamente y sobrepasarla a medida que se avanzaba en el surco. En 1833, John Lane, un herrero de Lockport, Illinois, unió pletinas de acero, del mismo tipo que las destinadas a las hojas de sierra, a la madera de las vertederas. Estos arados volteaban los surcos de las margosas praderas de Illinois; pero no se le ocurrió patentar la idea. Cuatro años después, John Deere, de Illinois también y de profesión herrero, hizo arados con acero de sierra y hierro dulce forjado. El modelo se adaptaba eficazmente a los suelos de las praderas. Asociado a Leonard Andrus, Deere sacó partido a su invento y creó un pingüe negocio.

De las labores que necesita el trigo, la de recolección es la decisiva. Sírvanos eso para ponderar la importancia de la introducción de la segadora mecánica en la agricultura, entre 1830 y 1860. Obed Hussey, de Maryland, patentó una rentable segadora tirada por caballos en 1833. Cyrus H. McCormick, de Virginia, había ideado una máquina parecida en 1831, continuando el trabajo que iniciara su padre; la patentó en 1834. A lo largo de los 20 años siguientes, McCormick se hizo con una posición dominante del mercado, de la que no fue ajeno el traslado de su empresa a Chicago, donde pudo ampliar su clientela en las praderas recién roturadas. Hussey, por contra, no movió su fábrica de Baltimore.

Hacia 1851, McCormick producía 1000 segadoras al año en su fábrica de Chicago. Con los años, los modelos se fueron perfeccionando. Un avance importante fue el de la atadora, el mérito de cuyo perfeccionamiento hay que atribuírselo a John F. Appleby, en 1878. La máquina ligaba los haces para su manejo más rápido y cómodo.

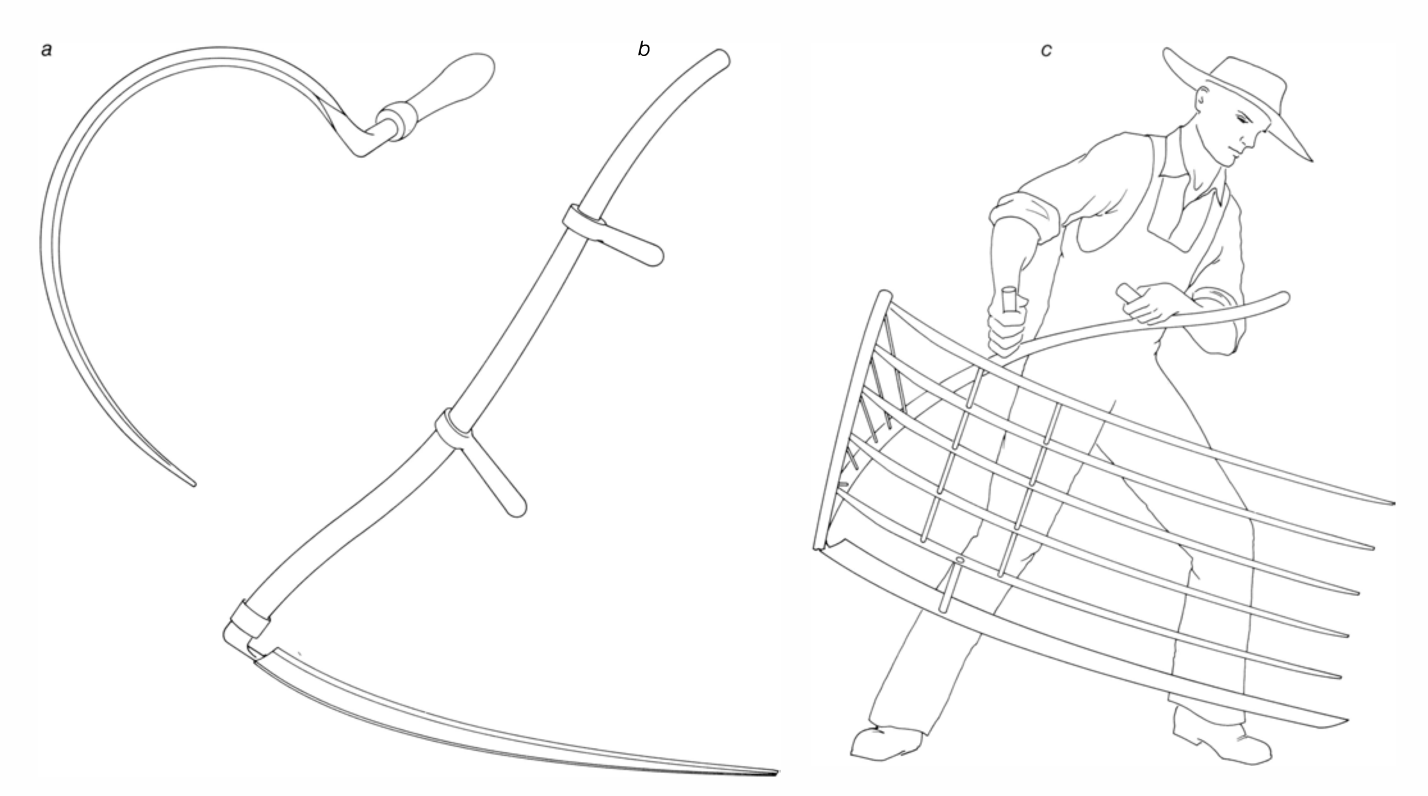


**ARADO DE LA PRADERA, inventado por John Deere en 1837 para solucionar los problemas que habían surgido a raíz de la expansión de la agricultura hasta las praderas del Medio Oeste; la tierra se apelmazaba a la madera y al hierro de los arados que se empleaban en aquella época, en vez de deslizarse y voltear sobre los mismos. Deere construyó la hoja del arado en acero de sierra y hierro fundido.**



**ARADO DE TRACTOR** del tipo común en la década de 1920. Representa una primera etapa en la transición desde otro similar tirado por caballo, cuyo armazón tenía un sillín para el conductor. Muchos de estos arados de tracción animal continuaron empleándose después de la segunda guerra mundial.

**DOCE VERTEDERAS** posee el moderno arado polisurco. Cada vertedera abre un surco de 56 centímetros. Cuando trabaja en un terreno nivelado y extenso puede roturar 4 hectáreas por hora; más incluso. La compañía Deere, que construyó este prototipo, fabricó otros dotados de 10 a 16 vertederas.



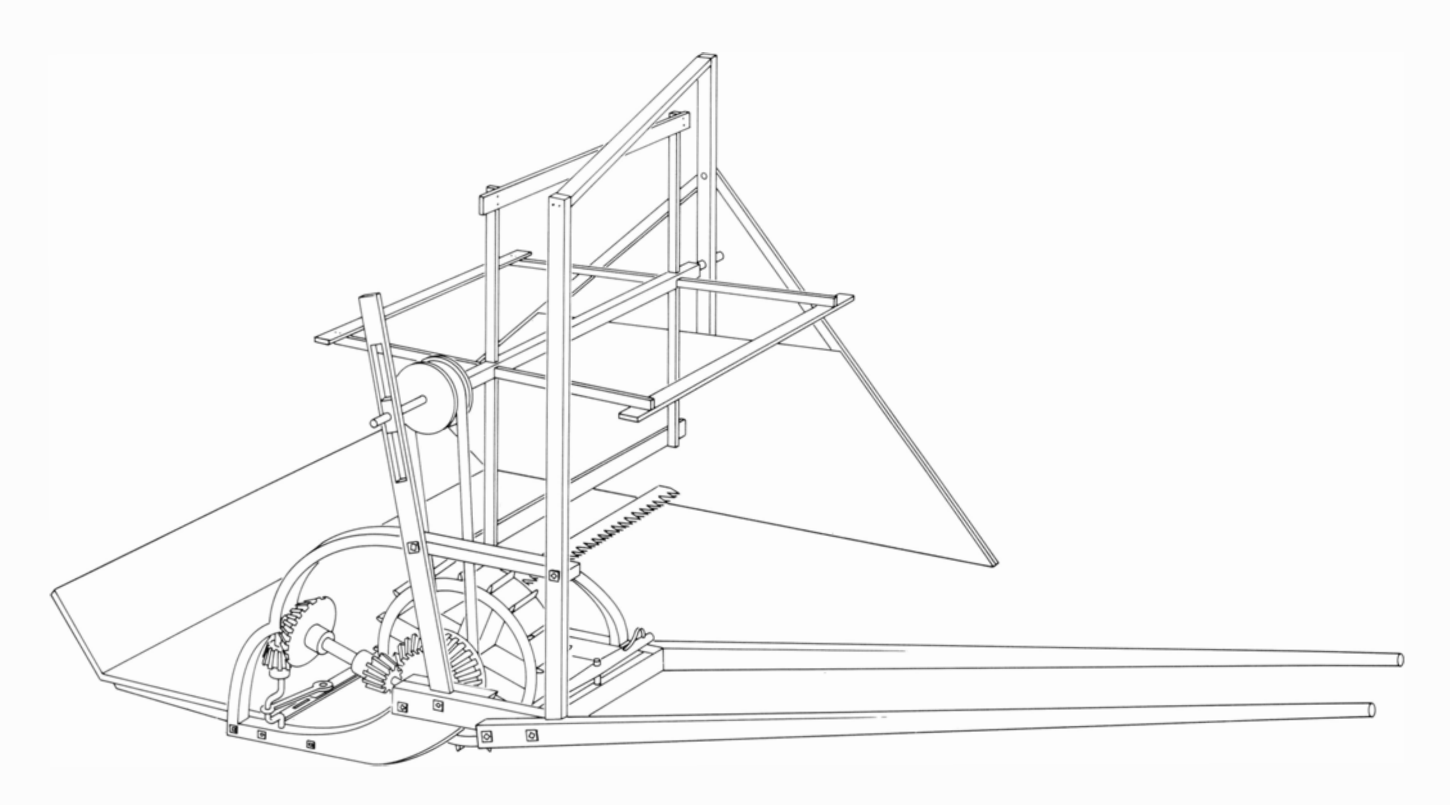

**PRIMITIVAS HERRAMIENTAS DE SIEGA** de los campos estadounidenses. Se emplearon hasta bien entrado el siglo XIX. La hoz (*a*) exigía al segador cortar el cereal o el heno en una posición encorvada; la guadaña (*b*), desarrollada en tiempos de la Revolución Americana, le permitía trabajar derecho y cortar mayor cantidad en cada balanceo. La guadaña hileradora (*c*) constituyó la herramienta más avanzada para la recolección de principios del siglo XIX. Era una guadaña con un peine de madera acoplado. Con ella, el segador podía cortar el cereal y dejarlo en el suelo amontonado en hileras.

El éxito obtenido por la segadora y otros ingenios tirados por caballos (algunos aparatos llegaron antes que la propia segadora) aceleraron la tendencia hacia el desarrollo de máquinas que no dependieran del esfuerzo muscular humano. En el decenio de 1820 había ya cultivadores de maíz y rastrillos de heno y cereales llevados por animales de tiro. John A. Pitts y Hiram A. Pitts patentaron en 1837 una trilladora. Y lo propio hizo W. F. Ketchum, en 1844, con una segadora que gozó de amplia aceptación. Antes de la guerra civil norteamericana existían en ese país sembradoras de trigo, deshojadoras de maíz, prensadoras, prensadoras empaquetadoras de heno y cultivadores de varios tipos, máquinas todas ellas cuya energía era de tracción animal.

No obstante esa gavilla de adelantos,



**TRILLADO** en Kansas en 1909. Se realizaba con una máquina de vapor que requería aún considerable equipo de mano de obra. El tractor a vapor de la derecha, con su remolque cargado de carbón, proporcionaba energía al separador por medio de una larga correa; el separador removía o separaba el



**SEGADORA MECANICA patentada en 1834 por Cyrus H. McCormick. No fue la primera en salir al mercado, pero pronto superó a las demás. En este modelo tirado por un caballo, el engranaje que toca al suelo transmitía la fuerza a las cuchillas oscilantes por medio de coronas y manguitos y, a las aspas, a través de una correa. Las aspas empujaban suavemente al cereal ya cortado hacia la plataforma trasera. El cereal se recogía a mano de la plataforma haciendo pequeñas gavillas que se amontonaban en pilas para que se secasen antes de pasar el trillo. (Recreación de George V. Kelvin.)**

aireados y alabados por las revistas agrícolas de los decenios de 1840 y 1850, muchos campesinos no se decidieron a invertir en la nueva maquinaria hasta tener la certeza de su rentabilidad. Sería la guerra civil la que terminaría por impulsar la conciencia de cambio; la subsiguiente conversión de la energía muscular humana en energía muscular animal de bestias de tiro constituiría la primera revolución agraria de los Estados Unidos. El desarrollo de la revolución se recoge en las estadísticas de las inversiones; la media anual de inversión por agricultor en nueva maquinaria e instalaciones era –siempre en dólares constantes– de 7 dólares en 1850, 11 diez años más tarde, 20 en 1870 y 26 dólares en 1880. La escasez de mano de obra, llamada a filas, junto con los elevados precios y una demanda



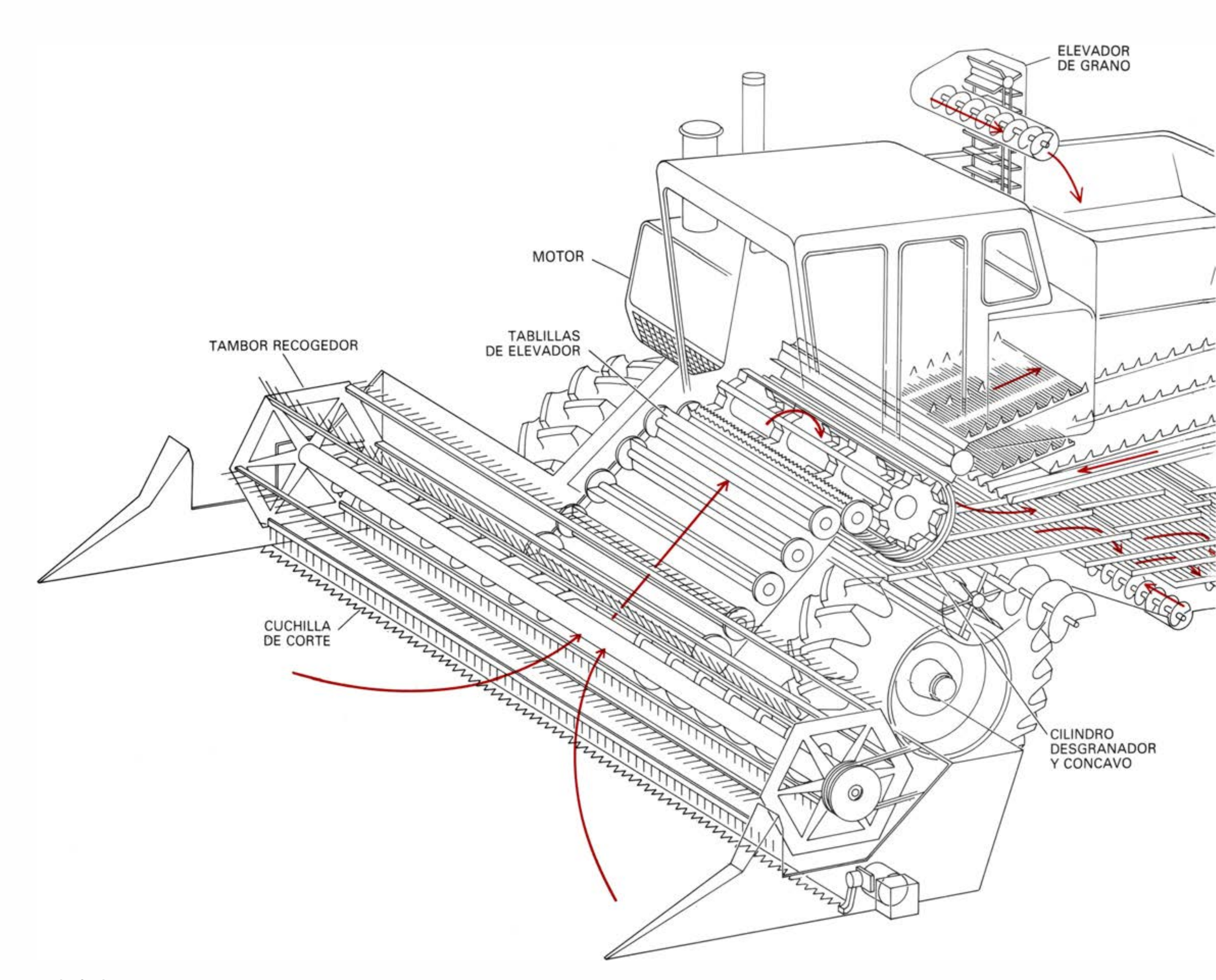
**grano de la paja. Se pueden ver en la fotografía cinco caballos (de los diez que se necesitaban para cumplir dicha operación). La mayoría de los hombres trabajaba con horcas, echando montones de gavillas a las carretas y, de éstas, al separador. (Fotografía facilitada por la Institución Smithsoniana.)**

que se diría ilimitada, estimuló a los campesinos a gastar sus ahorros e incluso endeudarse en la adquisición de maquinaria que suplía al jornalero. Una vez realizada la inversión, el campesino se veía abocado a producir a una escala comercial.

De 1820 a 1850 apenas se registran cambios en el rendimiento del trabajador del campo. Pero los 30 años que siguieron vieron como la producción por persona y año aumentaba notablemente, a pesar de que la cosecha media por hectárea avanzase poco. El número de personas que podía abastecer, en alimentos y fibras, un agricultor ascendió de cuatro, en 1850, a cinco y medio en 1880. La demografía del campo siguió creciendo, aunque en una proporción menor que el total de la población. La fracción de empleados del campo, con respecto a la mano de obra total de los Estados Unidos, bajó del 64 por ciento en 1850 al 49 por ciento en 1880.

Los cambios tecnológicos tuvieron también repercusiones sociales. El capital necesario para poner en marcha una explotación agraria aumentó de forma considerable, retardando la transformación en empresarios de los braceros, arrendatarios y jóvenes. Los agricultores se vieron cada vez más en las manos de banqueros y comerciantes. Salvo en el intervalo de la guerra civil, el crecimiento de la producción traía como secuela excedentes y precios bajos. Se les aconsejó reducir la producción, pero una explotación familiar no podía influir en el mercado. Hubo que roturar, además, nuevos campos para amortizar las máquinas que habían posibilitado la expansión de la agricultura. No podemos negar que para algunos campesinos la maquinaria les trajo una relajación de la dureza del trabajo y cierta prosperidad, con sus acompañantes de mayor tiempo libre y mejor educación. Pero, en buena medida, el desarrollo de la agricultura registrado a finales del siglo pasado se realizó a costa del agricultor.

La ley de la Hacienda ("Homestead Act") de 1862, que puso a libre disposición de los colonos las tierras del oeste, y la construcción del ferrocarril transcontinental incitaron a los agricultores ya asentados, así como a los emigrantes europeos, a tomar el camino de poniente, abriendo las llanuras, primero, para pastos y, luego, para su cultivo. En es-

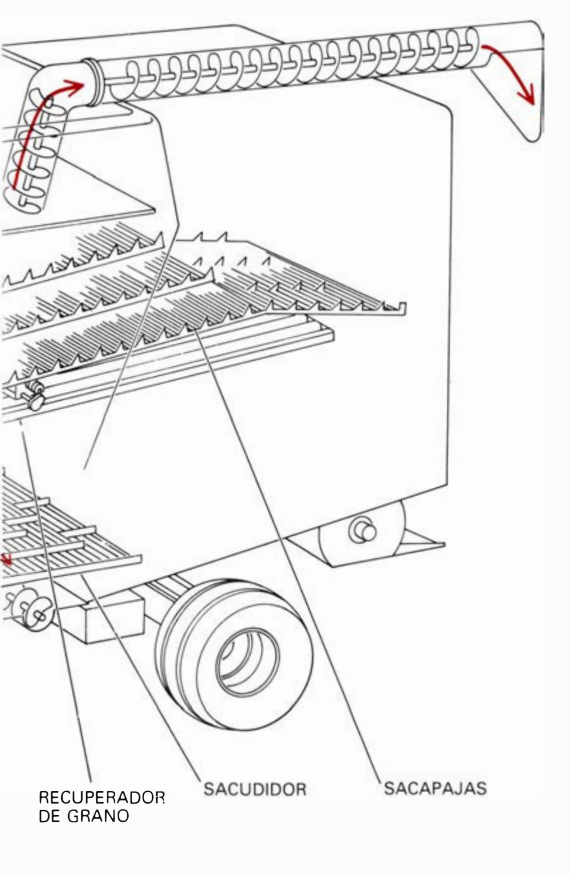



**COSECHADORA MODERNA para segar y trillar el cereal en una secuencia directa. Cuchillas oscilantes cortan la mata, que recoge luego el tambor. Los peines rodantes dirigen el cereal, entrando primero la paja, a un elevador que lo manda al cilindro desgranador, donde se estruja y sacude. El cóncavo está acoplado alrededor de las barras de trillar. Algunos granos van a parar al recuperador de grano. La paja y el resto del grano se conducen al sacapaja, donde de nuevo se sacuden para que la semilla caiga al recuperador de grano. El elevador del grano lo vacía en un volquete con capacidad para 6340 litros, hasta que se descarga por la parte trasera a un camión o remolque. La paja cae del sacapajas al suelo. Los restos de las espigas se expulsan por un ventila-**

tas tierras vírgenes la maquinaria agrícola cobraría mayor importancia cada vez. Aunque el caballo constituía la principal fuente de energía para las faenas, se desarrollaron otras. La máquina de vapor, estática primero y luego autopropulsada, se fue haciendo común en las grandes explotaciones agrícolas, sobre todo en el oeste.

El valle del río Rojo, en Dakota del Norte y Minnesota, ofrece un impresionante ejemplo de agricultura a gran escala basada sobre todo en energía de vapor. Cuando la compañía de ferrocarriles Northern Pacific suspendió el tendido de nuevas líneas durante la gran depresión económica que comenzó en 1873, algunos empleados de la empresa aceptaron tierras en el valle del río Rojo a cambio de sus derechos sobre la misma. En 1875, Oliver Dalrymple, un avezado cerealista de Minnesota, fue contratado para administrar la tierra. Empezó cultivando trigo en campos tan vastos que surcos había de hasta 10 kilómetros de largo. Si bien el peso de la labor recaía en caballos y mulas, Dalrymple puso su empeño en los tractores de vapor, a los que enganchó los aparatos contemporáneos más avanzados.

El trabajo realizado por Dalrymple puso sobre el tapete los problemas que podían rodear toda mecanización agraria de cierta hondura: averías, irregularidad en el trabajo, cambios imprevistos en la climatología y caída de los precios en el mercado. Los mismos riesgos corrían las empresas familiares, pero éstas tenían más posibilidades de reducir y aplazar los desembolsos, ya que en este segundo supuesto no había que pagar nóminas ni salarios por mano de obra contratada, ni darle su renta al propietario. Hacia 1890, las explotaciones de monocultivos cedieron el paso a otras plantaciones menores y más diversificadas.




**dor. Todas estas piezas las mueve un tractor de motor Diesel a gasoil. Este prototipo de cosechadora moderna para segar y trillar, que puede limpiar hasta cinco hectáreas por hora, pertenece a la compañía norteamericana Massey-Ferguson, Inc.**

Las máquinas de vapor se demostraron especialmente útiles en la trilla de los cereales. Resultaban demasiado pesadas y de una magnitud onerosa para otras labores. El punto de máximo auge de la maquinaria de vapor se dio en 1913, año en que la agricultura empleó hasta 10.000 unidades. La producción decreció entonces rápidamente, a medida que el tractor movido por gasolina se introducía en el mercado.

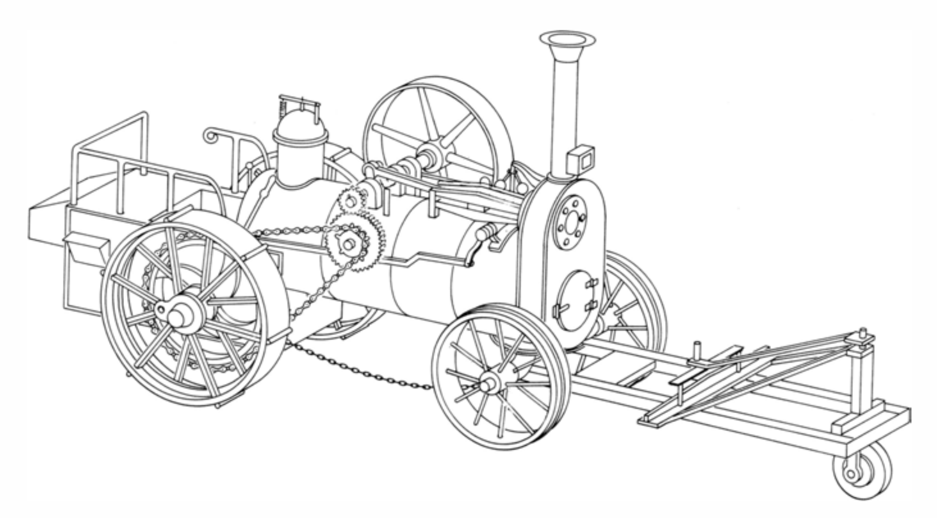
La primera experiencia de tractor autopropulsado con gasolina la realizó, en 1892, John Froelich, de Iowa. Montó un motor de gasolina en un aparato de rodadura ajustado a un mecanismo de tracción hecho por él. Con esa máquina realizó una campaña de trilla de 50 días. Su tractor fue el precursor de la línea de tractores Deere.

El primer negocio relacionado con la fabricación de tractores lo establecieron en la ciudad de Iowa, en 1905, C. W. Hart y C. H. Parr. Habían empezado trabajando con motores de combustión interna tras conocerse en la Universidad de Wisconsin, en 1893. Su primer tractor salió en 1901. A pesar de su tosquedad permaneció en servicio por 20 años. La compañía Hart y Parr se integraría más tarde en la Oliver Corporation. Aunque no todos con éxito, a lo largo de los decenios subsiguientes fueron saliendo al mercado muchos otros tractores de este tipo.

La adopción del tractor de gasolina se expandió con cierta lentitud hasta la primera guerra mundial. La subida de los precios de los productos agrarios, las llamadas del gobierno a aumentar la producción y la falta de mano de obra en muchas zonas animó a los agricultores entonces a decidirse por la mecanización. Terminada la guerra y tras una repentina caída de los precios en el sector, en julio de 1920, volvió a frenarse el ritmo de transición. De entonces a 1930, las fluctuantes condiciones económicas de la agricultura fomentaron el recelo de los campesinos ante una sugerida renuncia al equipo tirado por caballerías y sustituirlo por el tractor, sustitución que conllevaría un desembolso adicional de dinero. A pesar de lo cual fue creciendo el número de tractores y disminuyendo el de caballos y mulas en las explotaciones.

Alrededor de los años 20 se había introducido por sus propios méritos la cosechadora de cereales combinada: segaba y trillaba el cereal en una misma operación. En la campaña de siega del trigo, la cosechadora sustituía, a la vez, a la trilladora estática y a la segadora de cereales, que cortaba la mata y la amontonaba en hileras. La primera cosechadora que triunfó iba tirada por caballos; se construyó en 1836 en Michigan. En el decenio de 1880 las máquinas de vapor movían la mayoría de las cosechadoras que se introducían en el mercado. Para 1912, los motores de gasolina iban comiéndole terreno a los de vapor en las cosechadoras. A lo largo de los dos decenios siguientes se generalizó la gran cosechadora arrastrada por motor de gasolina. El desarrollo de una cosechadora monoplaza, en 1935, impulsada por un tractor bisurco (tractor con la potencia suficiente para tirar de dos arados), constituyó otro hito.

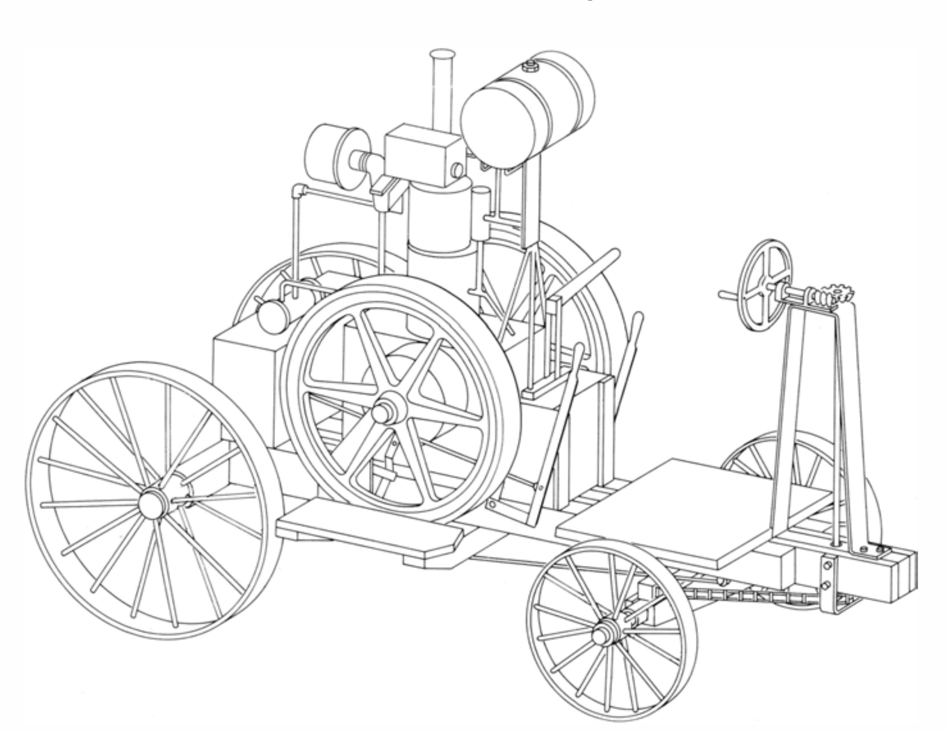
En 1956 había más de un millón de cosechadoras por los campos de Estados Unidos. El millón y medio de segadoras-agavilladoras puestas en funcionamiento en la década precedente a la segunda guerra mundial había desaparecido casi por ensalmo. También fueron suprimiéndose las nutridas cuadrillas que habían hecho la trilla y el transporte hasta la era, los trabajos más duros y pesados del año en la mayoría de las explotaciones cerealistas. Tres hombres venían a constituir el núcleo de una cuadrilla. Como su nombre indica, el separador tenía por misión atender la separación por la máquina del grano, la paja y la granza. El maquinista conducía el tractor, que arrastraba el separador mediante un largo cinturón. El tractor de vapor se mantuvo en uso en la trilla mucho tiempo, en tanto que el tractor de gasolina se reservaba para otras labores; la cuadrilla contaba, con-



**LA MAQUINA LOCOMOTRIZ AGRARIA fue uno de los primeros tractores a vapor; entró en servicio hacia 1860. La parte trasera con barandilla es un tanque de combustible. El aparato frontal de una sola rueda constituye el sistema de dirección; un maquinista, sentado en el travesero del sistema de dirección, guiaba la rueda girando la palanca vertical situada frente al travesero, que, a su vez, dirigía las ruedas delanteras de la máquina. Otro hombre cuidaba de la caldera, y un tercero hacía de aguador.**

siguientemente, con un aguador encargado de abastecer el tractor. Cuando había que transportar además las gavillas extendidas por el campo hasta la era, se precisaba el concurso de otro par de jornaleros para cargarlas a las carretas. Muchas veces se necesitaba algún que otro hombre más para echar brazadas al separador. Para una explotación de tipo medio, la cuadrilla podía estar formada hasta por una docena de obreros. Los que no eran de la familia y no vivían cerca podían dormir en el establo. Pero había que darles comida a todos. Y era esa una prueba definitiva para la dueña campesina.

La segunda guerra mundial constituyó la espoleta que desencadenó la transformación mecanizadora. La verdadera segunda revolución agraria norteamericana: la sustitución de la energía animal por energía mecánica. Pero esa no es toda la verdad. En el decenio de 1930, los programas agrícolas de la "nueva frontera" (New Deal") viabilizaron que algunos campesinos reemplazaran las máquinas estropeadas por nuevos modelos. El plan de electrificación rural llevó hasta puntos muy alejados (a casi todos, diríase) una nueva e importante fuente de energía. La electricidad ponía al alcance del hombre del campo toda clase de aparatos beneficiosos: alumbrado, máquinas ordeñadoras, trituradoras de piensos y bombas de impulsión. Pero hubo de ser la guerra, con su cohorte de caída de mano de obra, precios elevados para los productos del campo y una amplia demanda de dichos productos, lo que determinó la vuelta de los agricultores al tractor y otras máquinas afines.



**TRACTOR DE FROELICH, construido por John Froelich, de Iowa, en el año 1892; fue el primer tractor de aplicación práctica autopropulsado por gasolina, y el primero también que tenía marcha atrás.**

Un comportamiento constante del campesino estadounidense ha sido el de esperar que la nueva tecnología se pruebe y desarrolle en momentos de condiciones económicas favorables para adoptarla. Las primeras invenciones salían en la mayoría de las ocasiones de los talleres de agricultores-mecánicos, pero las pruebas, su perfeccionamiento y comercialización corrían a cargo de fabricantes de aperos agrícolas. Más tarde, los prototipos de la nueva maquinaria debíanse a los ingenieros de las universidades subvencionados por los agricultores y el Departamento de Agricultura; pero, una vez más, las pruebas, retoques y comercialización eran patrimonio de los fabricantes. Las universidades que recibían subvenciones del campo, las estaciones experimentales y los servicios de extensión agraria desempeñaron otro papel esencial: educar a los agricultores en las ventajas que comportaba la maquinaria y en la manera de ajustar sus faenas para sacarles el máximo rendimiento.

Las nuevas máquinas constituían sólo un aspecto de la segunda revolución agraria. La mecanización y otros cambios conformaron un nuevo modelo de trabajo, el que se ha dado en llamar sistema de acceso a la mejora de la productividad agraria. En los otros cambios hay que incluir la aplicación controlada de cal y fertilizantes, técnicas de conservación de suelos (plantación de cosechas cubiertas y riego donde fuera necesario), creación de variedades vegetales y razas animales, adopción de maíz híbrido, piensos más equilibrados para el engorde del ganado, control eficaz de insectos y plagas y empleo de herbicidas químicos y defoliantes. Los resultados de estas prácticas en la producción fueron espectaculares. Muchos rasgos de la vida del campesino se vieron profundamente afectados por la consolidación de las explotaciones y el abrupto descenso de la población rural.

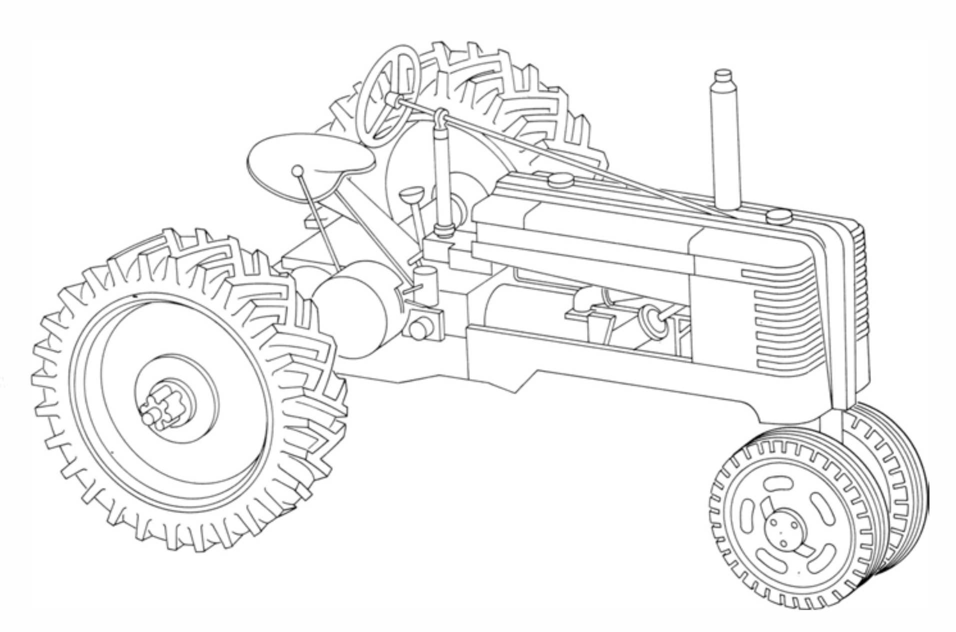
La producción de remolacha azucarera constituye un buen ejemplo del ahorro de mano de obra a través de la mecanización y el desarrollo de un nue-

vo tipo de semilla. Antes de la segunda guerra mundial, las explotaciones de remolacha azucarera poseían pocas máquinas especializadas, entre las que se veían sembradoras arrastradas por caballerías, cultivadores, elevadores (para arrancar las plantas) y carretas; prevalecían, empero, las labores manuales de aclareo en primavera y recolección en otoño. El trabajo lo realizaban principalmente trabajadores temporeros. En el decenio de 1930, la Estación Experimental Agraria de California en Davis y el Negociado de Ingeniería Agraria del Departamento de Agricultura emprendieron un plan conjunto de investigación que se proponía desarrollar una cosechadora para la recolección de la remolacha azucarera: una máquina que arrancara las plantas, eliminara las hojas y cargara la raíz en una sola pasada rasante por las hileras de la planta. Durante varios años se desarrollaron dispositivos para las distintas fases del trabajo; se transfirieron entonces los diseños a los fabricantes de maquinaria, que llevaron a término el empeño. En 1958 se fabricaban dos tipos principales de cosechadoras. Ese año se recolectó mecánicamente la totalidad de la cosecha. (En 1944, solamente lo había sido el 7 por ciento.)

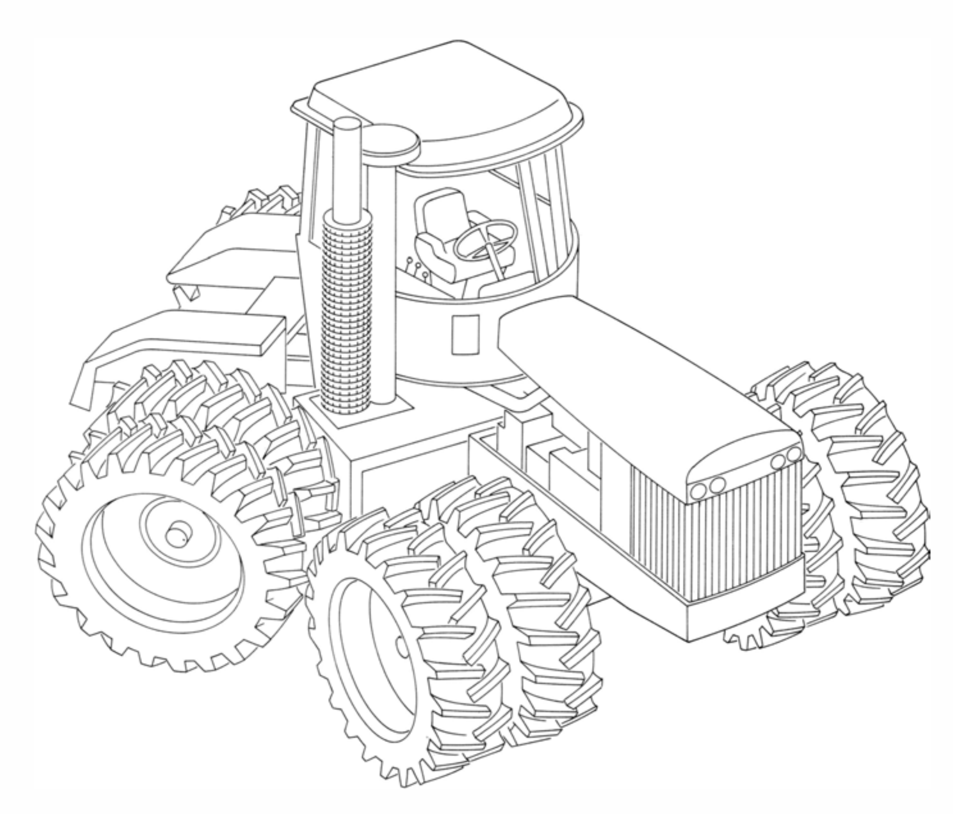
La tarea de entresacar o aclarar las plantas débiles se abordó, a un tiempo, por vía mecánica y a través de la mejora de la semilla. En 1941 se fraccionaron y sembraron varias semillas multigermen, que producían normalmente racimos de plantas diversas; de muchas de ellas brotó una sola planta, disminuyendo enormemente la necesidad de aclareo. Muchos cultivadores adoptaron entonces esas semillas. Sin embargo, en 1954, los agricultores dispusieron de una solución mejor: las primeras semillas monogermen. Actualmente, con la precisión de la plantación de semillas monogermen y el uso de la aclaradora mecánica, la producción norteamericana de remolacha azucarera está enteramente mecanizada. El agricultor se ha independizado de la mano de obra temporera.

El problema de la mano de obra estacional subyacía también en la investigación que condujo a la obtención de una cosechadora mecánica para el tomate. Gran parte del que se cosechaba en California lo recogían trabajadores mexicanos que entraban en los Estados Unidos bajo las condiciones del programa "Bracero". Cuando acabó el programa, en 1964, los agricultores se quejaron de la imposibilidad de reclutar ciudadanos norteamericanos para ese trabajo, en contra de la opinión de algunos líderes sindicales. La polémica cesó definitivamente ante la fructífera mecanización de la recolección.

La aplicación de maquinaria a la recolección del tomate requirió la convergencia de dos líneas diferentes de trabajo, ambas desarrolladas en la Estación Experimental Agraria de California en Davis. El éxito en la reproducción de una nueva variedad de planta de tomate hay que otorgárselo a Gordie C. Hanna. Con las justas aportaciones de fertilizantes y agua, las plantas de esta variedad dan una abundante cosecha de fruto, que madura a un tiempo, lo que permite su recogida de una sola vez. Además, el fruto resiste la manipulación de la máquina.



**EVOLUCION DEL TRACTOR,** evidenciada en este modelo de 1930. Las ruedas delanteras tienen la separación suficiente para pasar entre dos filas de plantas; las ruedas traseras pasan por fuera de las filas.



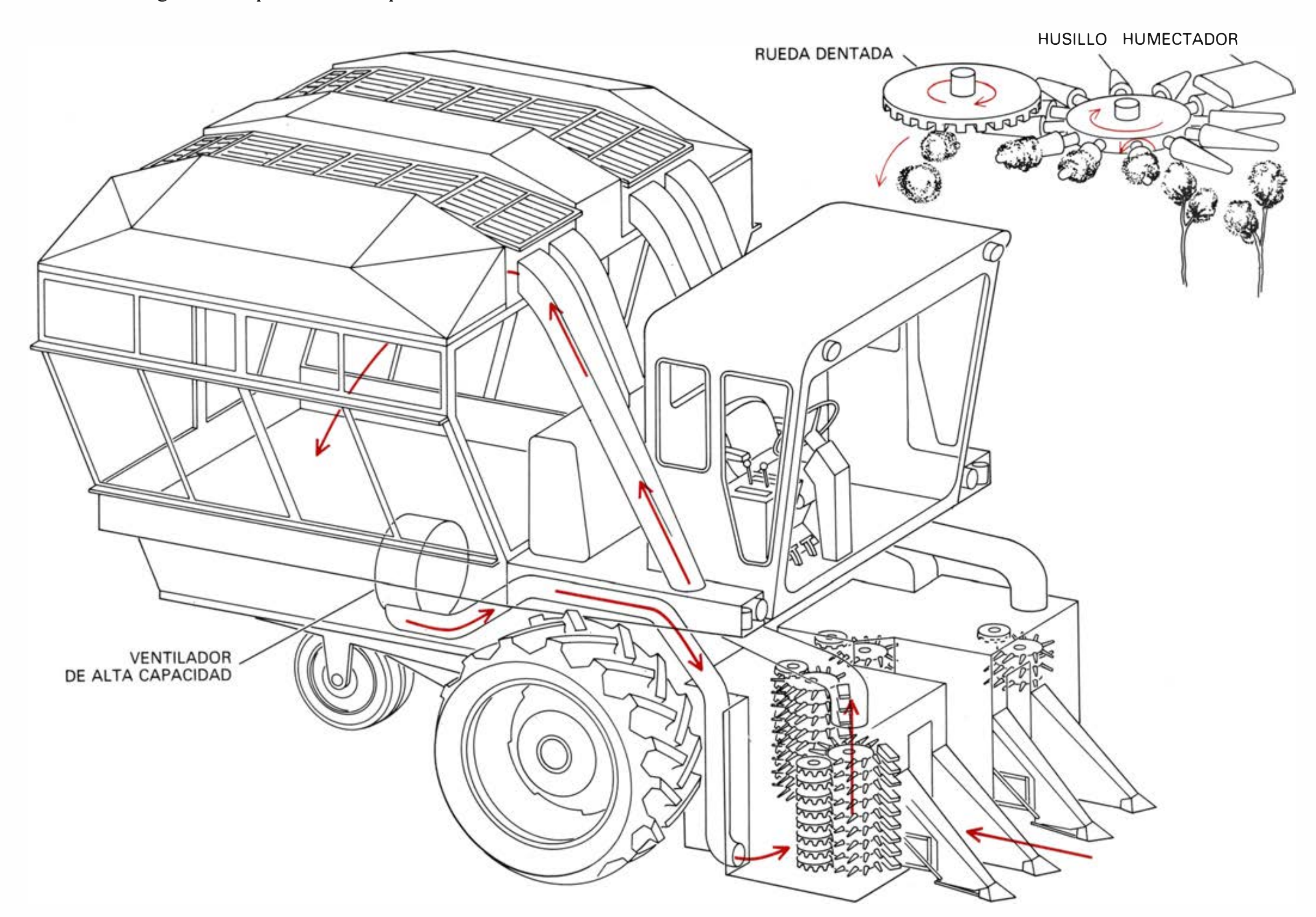
**TRACTOR MODERNO,** representado por este modelo Deere con tracción en las cuatro ruedas que puede desarrollar cerca de 300 caballos de potencia a una velocidad de motor de 2100 revoluciones por minuto. El tractor es articulado, gira doblándose por una articulación central, de forma que las ruedas se mantienen paralelas al chasis. Así, las ruedas traseras siguen las huellas de las ruedas delanteras.

Coby Lorenzen, Jr., ideó la máquina cosechadora. Corta las plantas a nivel del suelo, las levanta, transportándolas a un compartimento, y separa el fruto sacudiendo las ramas. Una correa transporta los tomates por delante de una cuadrilla de trabajadores, subidos a la máquina, que separan los tomates verdes de los terrones de tierra. Las primeras cosechadoras de tomates tenían una capacidad de ocho a 12 toneladas por hora. Una cuadrilla de un total de 12 trabajadores manejaba casi la misma cantidad de fruto que podían arrancar 60 personas en recolección manual. En 1963 solamente el 1,5 por ciento del cultivo del tomate californiano para conserva estaba mecanizado. En 1968, el porcentaje era del 95 por ciento y hoy podemos cifrarlo ya en el 100 por ciento. Además, las cuadrillas de las máquinas se han reducido a tres o cuatro personas.

La mecanización de la recogida del algodón ha afectado a una población mayor. El primer invento, la recolectora de algodón, separaba las cápsulas de las plantas. Aunque se empleó bastante en el estado de Texas ya en 1926, sólo resultó satisfactoria en determinadas zonas. En 1928, John D. Rust y Mack D. Rust, de Texas, patentaron una cosechadora de husillo: sacaba las fibras de algodón de las cápsulas para envolverlas alrededor de unos husillos. La cosechadora de husillo se fue ganando poco a poco el favor de los campesinos; mas al estallar la segunda guerra mundial, la elevada demanda y altos precios para el algodón estimularon a los fabricantes a producir más unidades. Con todo, no llegaba al 10 por ciento la cosecha mecanizada en 1949. Veinte años más tarde, sin embargo, la cifra rondaba el 96 por ciento. En el mismo período, los aparatos para la preparación de la tierra, técnicas de plantación, aplicación de fertilizantes y control de agua, malas hierbas y plagas aumentaron la cosecha media de algodón producido en los altiplanos de 340 kilogramos de hilo por hectárea a más de 560. Se había eliminado, en la recolección del algodón, el trabajo más pesado. En 1945 se invertían en los Estados Unidos alrededor de 42 horas-hombre para producir 45 kilogramos de algodón; transcurridos treinta años, obteníase el mismo rendimiento con sólo dos tercios de hora-hombre.

Esta ganancia substancial en la productividad redujo en cientos de miles el número de trabajadores necesarios en las plantaciones algodoneras. Consecuencia de la disminución de las necesidades de mano de obra ha sido la virtual desaparición de la aparcería, considerada perjudicial para el aparcero, el propietario y la tierra. Los agricultores que continúan cultivando algodón se han beneficiado de un mejor nivel de vida y una amortiguación de la discriminación racial. En otro orden, muchos aparceros y braceros sin trabajo han encontrado escasas oportunidades para colocarse en otros puestos.

No pasó mucho tiempo desde la invención de la cosechadora de husillo hasta que los hermanos Rust reconocieran que la máquina podía "dejar en la calle al 75 por ciento de la población activa". En vez de quedarse sentados clamando su fatalismo, recurrieron a




**COSECHADORA DE ALGODON; representa el último estadio de un proceso de mecanización del cultivo de algodón. Se trata de una máquina autopropulsada que arranca las fibras de algodón de las cápsulas por un enrollamiento en husillos húmedos que luego son vaciados y limpiados por una rueda dentada expulsadora. El depósito acoplado detrás de la cabina tiene capacidad para 18 metros cúbicos de algodón. El detalle (*arriba, a la derecha*) muestra el mecanismo de los husillos y la rueda expulsora. La máquina, de la Internacional Harvester Co., recoge dos hileras de algodón al mismo tiempo.**

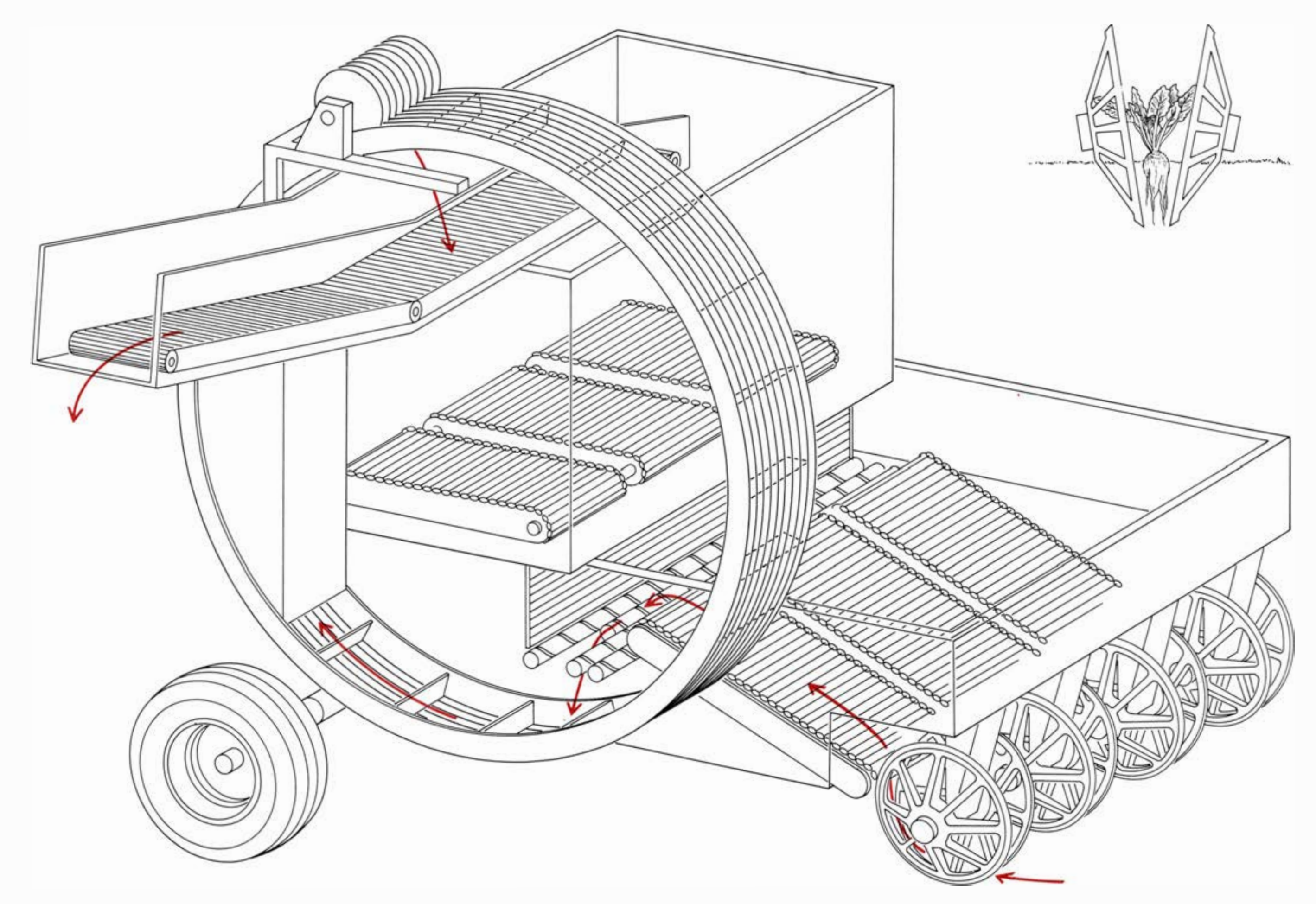
un plan tras otro para evitarlo. Propugnaban adaptar la maquinaria a las plantaciones pequeñas, comercializándola con restricciones sobre su uso, vendiéndola sólo a los proyectos de cultivo organizados en cooperativas y reservando parte de sus beneficios para los agricultores que se quedaban en paro. Sin embargo, ninguna de estas medidas resultó eficaz y todas ellas fueron barridas cuando las exigencias de la segunda guerra mundial atrajo a varias compañías más hacia el negocio de la manufactura de cosechadoras de algodón.

Otra práctica que ha sufrido cambios sustanciales en las últimas décadas es la del riego. Quien atraviese los Estados Unidos en avión, del Atlántico al Pacífico, verá a 100 grados de longitud o algo más allá, una serie de extensiones circulares, consecutivas, que se extienden de Texas a Dakota del Norte. Estos círculos son resultado de una de las más recientes innovaciones: los sistemas de riego con pívot central, procedimiento casi totalmente automático. Consta de una larga tubería con boquillas a intervalos a lo largo de su recorrido; los tubos se montan sobre pivotes y ruedas en el centro del terreno, dibujando un círculo sobre el cultivo. El aparato se mueve por turbinas de agua o motores eléctricos. Un sistema de riego de pívot central cubre una superficie circular de unas 55 hectáreas.

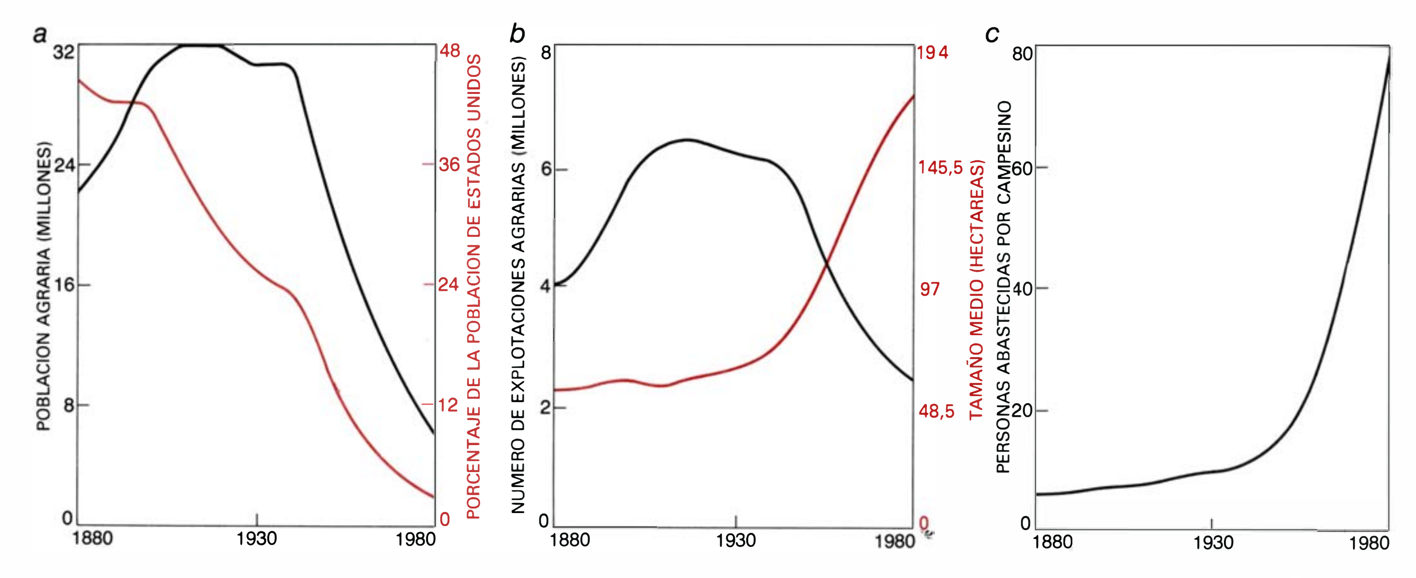
Ese novísimo dispositivo queda muy lejos de las acequias construidas por los primeros mormones, pioneros en Utah, para desviar el agua desde la ciudad de Creek hacia sus tierras. Este primer modelo de riego moderno se basaba en los primitivos sistemas de riego desarrollados por los indios del suroeste, mucho antes de que llegaran los europeos. Los colonos mormones que se trasladaron desde Utah hacia Arizona, Colorado, Idaho, Nevada y Nuevo México llevaron consigo sus prácticas cooperativas de riego. La técnica se adoptó pronto en todo el oeste. Represaron cuencas menores y el agua almacenada se conducía, por una red de acequias, hasta las tierras niveladas, que aumentaron su productividad por encima de lo que permitía la pluviometría natural.

Los cursos fluviales y las reservas de agua disponibles escaseaban en muchas regiones del oeste. Además, el riego con agua superficial desplazada por gravedad es una tarea que requiere largas horas de duro trabajo, si el campesino trata de controlar el movimiento del agua sobre el terreno. A partir de la segunda guerra mundial, el uso de tuberías de aluminio móviles ayudó en esta tarea. Ha aumentado el suministro de agua en muchos campos del oeste, principalmente de los estados de Texas y Nebraska, mediante bombeos masivos en pozos de escasa profundidad que consiguen alumbramientos de agua subterránea almacenada desde hace cientos de años. El agua se reparte por el terreno a través de distintos sistemas de riego, de los cuales el del pívot central ha resultado uno de los más eficaces. El prototipo de este ingenio fue construido en 1949 por Frank Zybach, un arrendatario cerealista.

El principal contratiempo al que ha de enfrentarse la extracción de agua de los pozos del árido oeste para el sistema de pívot estriba en que el caudal de



**COSECHADORA DE REMOLACHA AZUCARERA. Arranca remolachas de cuatro surcos por medio de ruedas sacadoras; las limpia, las eleva con una rueda gigante y las deposita en un tanque. Hasta después de la segunda guerra mundial, la industria de la remolacha azucarera utilizaba mano de obra en el aclareo, en primavera, y la recolección, en otoño. En la actualidad se dispone de máquinas para plantar, aclarar y recolectar, con lo que la producción de remolacha azucarera ha alcanzado la mecanización total. Las semillas monogermen, que dan una sola planta, han facilitado la transformación.**




**INCREMENTOS DE LA PRODUCTIVIDAD agrícola y descenso de la mano de obra, representados gráficamente para la población agraria de los Estados Unidos desde 1880 (*a*); número de explotaciones agrarias y su tamaño (*b*) y número de personas abastecidas de comida y fibra por cada campesino (*c*).**

agua subterránea es limitado. En varios puntos de Texas, los agricultores han agotado los caudales y no les queda ya una gota para el riego. Donde aún resta, y para conservar las escasas bolsas de agua disponible, algunos han adoptado el sistema gota a gota. Ni aspersores, ni encauzamiento por acequias abiertas sobre el campo: las tuberías suministran pequeñas cantidades de agua directamente a la mata. La instalación del sistema es costosa, pero mengua las pérdidas por evaporación y restringe el trabajo necesario para el riego.

La segunda revolución agraria contempló también la mecanización de las labores relacionadas con la ganadería y avicultura: producción de huevos, leche, carne de vacuno y derivados del cerdo. La avicultura abrió la marcha con el desarrollo de incubadoras y polleras en el decenio de 1870. Las incubadoras sustituyeron a las gallinas en el suministro constante de calor a los huevos hasta la eclosión y las polleras proporcionaban calor y abrigo a los polluelos. En el decenio de 1920 se criaban ya polluelos (y huevos) en régimen cerrado, al descubrirse que la adición de vitaminas a la dieta ayudaba a mantener la salud de los mismos. Tras la segunda guerra mundial se desarrollaron vacunas contra muchas enfermedades avícolas y se añadían antibióticos a los piensos. Por aquel entonces también salieron al mercado dispositivos automáticos que echaban el pienso y el agua a las aves enjauladas. Hoy, prácticamente todos los huevos y los pollos los producen aves enjauladas en compartimentos altamente mecanizados.

Las vaquerías mantenían al granjero en casa; las vacas deben ordeñarse dos veces al día. Las ordeñadoras se desarrollaron en la primera guerra mundial, aunque su generalización se retrasó más allá de la segunda guerra mundial. Desde entonces ha desaparecido el ordeño a mano en las grandes vaquerías. Muchos establos se han equipado también con redes que canalizan el acarreo de la leche. Una vaquería moderna típica posee bebederos individuales automáticos, potentes sistemas para acarrear alimentos hasta los animales y aparatos limpiadores automáticos que se arrastran por los canalones de detrás de las vacas con sólo pulsar un botón. Las vaquerías automatizadas se surten de energía eléctrica.

Los cerdos han abandonado, en muchas granjas, el tradicional revolcadero de barro. Se han instalado en pocilgas con piso de hormigón fácilmente limpiable o de tablillas de madera. La distribución de agua y alimentos a las pocilgas está mecanizada.

En la mecanización de la dosificación del pienso al ganado vemos uno de los adelantos más espectaculares de la producción de carne desde la segunda guerra mundial. En un espacio relativamente pequeño se reunen miles de reses destinadas al engorde. El pienso, cuidadosamente formulado, se mezcla y se suministra mecánicamente al ganado en conductos y distribuidores; disponen también de un servicio constante de agua. Los estudios sobre el particular han puesto de manifiesto la eficacia de este sistema de engorde; pero posee inconvenientes. La escorrentía de la lluvia caída sobre estos cebadores densamente poblados de ganado contaminan los riachuelos y las grandes cantidades de estiércol acumuladas en la zona pueden presentar peligros sanitarios. Aunque se busca con afán el remedio a estos problemas, la solución definitiva está aún pendiente.

Es improbable que el proceso de mecanización revierta, una vez incoado. La mecanización demanda mejor gestión empresarial para la utilización eficiente de un equipamiento que exige grandes inversiones de capital. Puesto que unas explotaciones agrarias estarán mejor dirigidas que otras, continuarán ampliándose las diferencias en las explotaciones, tanto en tamaño como en producción y renta. La mecanización ha reducido las oportunidades de empleo agrícola y continuará en esa misma dirección.

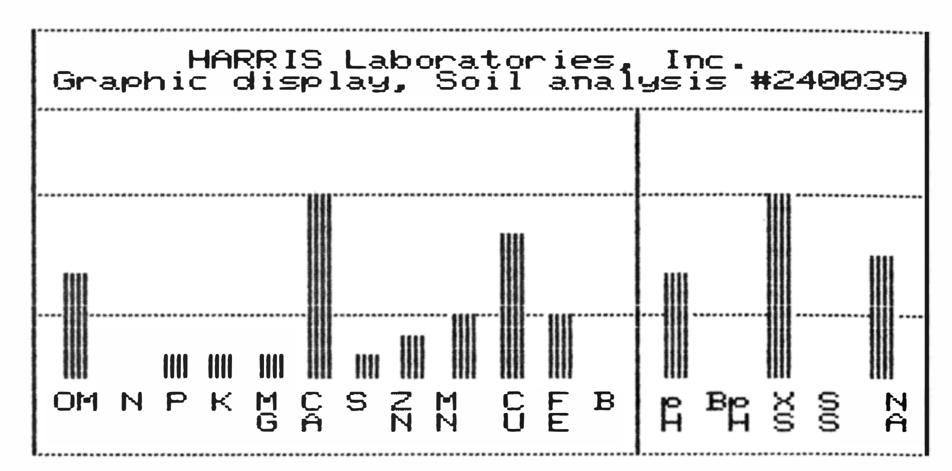
Daremos dos muestras de la disparidad de opiniones sobre los efectos económicos y sociales de la mecanización agraria, representadas por los comentarios contrapuestos de Theodore C. Byerly, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y Jim Hightower, crítico de las instituciones oficiales de investigación agraria. Hace unos años, escribía Byerly "Si proseguimos en la línea del desarrollo y la aplicación de la tecnología en la producción de alimentos, fibras y productos forestales, abasteceremos, hasta la abundancia, a la próxima generación. Podrán ellos tomar las decisiones oportunas para disfrutar de un aire limpio, agua cristalina y un verde y agradable mundo donde vivir". Un par de años después afirmaba Hightower que "... si atendemos a las vidas malgastadas, áreas rurales esquilmadas, ciudades asfixiadas, suelos envenenados y quién sabe si también las personas, la investigación en mecanización ha constituido una pésima inversión".

Quizá parte del antagonismo depen-

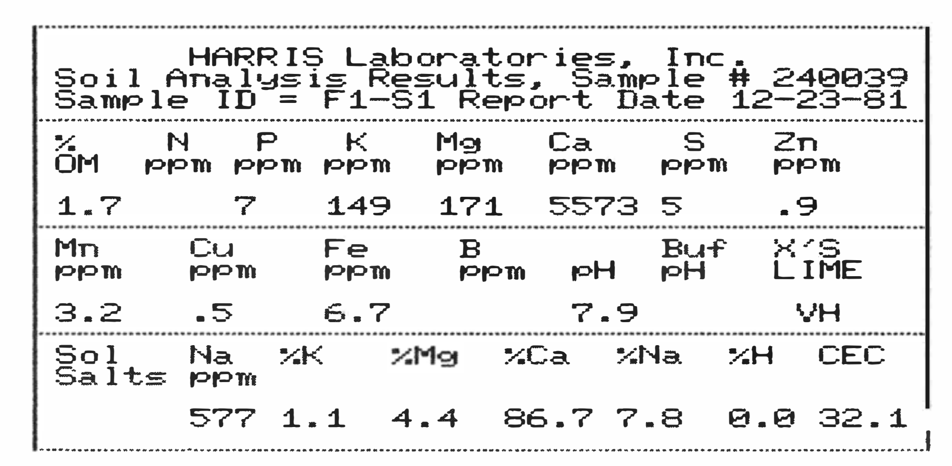
da del énfasis dado, ya que Byerly declaraba que “nuestras técnicas de reciente aplicación han introducido costes indirectos y, a veces, imprevistos. Han llovido pesticidas sobre nuestra tierra; la regulación de cosecha [programas gubernamentales que prevén el abandono de la producción en ciertas tierras para mantener los precios más altos] han dejado a muchas personas sin trabajo o sin medios de subsistencia. Nuestra abundancia ha costado al contribuyente los recursos económicos necesarios para mantener a la Administración y al productor con precios bajos”. Hightower, por su lado: “Este enfoque de eficacia científica y comercial ha conducido a la producción (o superproducción) de abundantes alimentos y productos textiles”

Los costes ocultos de la mecanización y los cambios relacionados con ella van desde el descenso de la población campesina y el número de explotaciones, hasta el incremento de la dimensión y capital necesario para mantener una explotación agraria, pasando por la desaparición de muchos núcleos pequeños y la pérdida de instituciones sociales rurales. Para Otha D. Wearing, periodista de Iowa especializada en temas agrarios, “la capacidad productiva de la energía mecánica [escribía en 1971] ha reducido enormemente la población agraria. Las unidades dedicadas a la agricultura son cada vez menos numerosas y más dispersas, a medida que los productores que disponen de maquinaria se lanzan a adquirir nuevos campos para sacarle provecho a sus inversiones. Iglesias rurales, escuelas rurales, la sociedad rural y los villorrios han sufrido las consecuencias. Muchos de ellos han desaparecido por completo”. La pérdida de instituciones rurales se ha compensado, en parte, por el perfeccionamiento del transporte, pero hasta dónde hayan incidido tales cambios se desconoce todavía.

El condado del Valle Dorado, en Montana, donde yo vivía en un rancho hasta que los negocios de mi familia se vinieron abajo de la noche a la mañana, por causa de la depresión, nos sirve para ilustrar algunos problemas de éstos. Persiste en su estructura rural, sin industria y casi sin empresas agrarias de cierta entidad (salvo las familiares que mantienen la figura jurídica de sociedades). En 1925, el primer año para el que se dispone de datos de censo, el condado tenía 492 explotaciones agrarias con una dimensión media de 250 hectáreas. En 1978 había 139 explotaciones, calculándose una media de 1900 hectáreas. Así pues, la superficie culti-




GROWER = MENDONCA DAIRY
SAMPLE ID = F1-S1 12-23-81
2.5 BALES COTTON


HARRIS Laboratories, Inc.
Soil Analysis Results, Sample # 240039
Sample ID = F1-S1 Report Date 12-23-81

| % OM | N ppm | P ppm | K ppm | Mg ppm | Ca ppm | S ppm | Zn ppm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.7 | | 7 | 149 | 171 | 5573 | 5 | .9 |

| Mn ppm | Cu ppm | Fe ppm | B ppm | pH | Buf pH | X'S LIME |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.2 | .5 | 6.7 | | 7.9 | | VH |

| Sol Salts | Na ppm | %K | %Mg | %Ca | %Na | %H | CEC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 577 | 1.1 | 4.4 | 86.7 | 7.8 | 0.0 | 32.1 |

GROWER = MENDONCA DAIRY
2.5 BALES COTTON
SEE SPECIAL TEST RESULTS

HARRIS Laboratories, Inc.
Fertilizer Recommendations for #240039

Your ID# F1-S1 — Plant Food Needs (in lbs./acre) For 2.5 BALES COTTON

| SULF LBS | N | P2O5 | P2O5 Build | K2O | K2O Build | MgO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 360 | 125 | 95 | 65 | 80 | | 30 |

| Acres | S | Zn | Mn | Cu | Fe | B |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 38 | 9 | 6 | ---- | 7 | |

GROWER = MENDONCA DAIRY
REPORT DATE = 12-23-81
SOILDATA RECORD NO. = 9

**INTRODUCCION DE LOS ORDENADORES en la agricultura. Aunque acaba de empezar, promete una mayor eficacia en el manejo de las máquinas y la energía y otras operaciones, tales como contabilidad de costes, y empleo de fertilizantes y piensos compuestos. La ilustración recoge los resultados que aparecen en la terminal de ordenador, facilitados por el laboratorio que examinó una muestra de tierra que recibió para su análisis. OM significa materia orgánica; otras cantidades aparecen en partes por millón.**

vada se ha doblado, mientras que el número de explotaciones agrarias menguaba en dos tercios. El condado tenía 2126 habitantes en 1930, y 931 en 1970. El pequeño incremento, hasta 1026, de 1980 puede atribuirse a la fundación de una controvertida colonia religiosa. En 1925 el condado tenía dos bancos, dos periódicos, dos pequeños hospitales, tres médicos, un ferrocarril directo y una mantequería. En 1980 todo ello había desaparecido. Una de las tres escuelas medias había cerrado; no hay servicio de extensión de la facultad estatal de agricultura. Carece de estación de radio o televisión. Eso sí, las carreteras han mejorado mucho desde 1930.

A quien más beneficio rinde la mecanización agraria es al propio consumidor, seguramente. Los gastos por alimentación, en porcentaje de los ingresos, han ido bajando desde la segunda guerra mundial, y son notablemente inferiores en los Estados Unidos que en casi cualquier otra parte del mundo. Consumidores extranjeros también han pasado a depender de agricultura norteamericana.

Los campesinos han visto crecer su renta disponible desde 840 dólares por persona en 1950 hasta 6553 dólares en 1980. Para los otros sectores, las correspondientes cantidades han sido de 1455 y 8042, respectivamente. En 1950, sin embargo, alrededor del 31 por ciento de las rentas de las familias agrarias provenía de actividades no agrarias, como la enseñanza, conducción de autobuses, comisiones de seguros y trabajos en tiendas o fábricas. En 1980, las rentas de los agricultores procedentes de actividades no agrarias ascendían al 63 por ciento. Los ingresos del sector agrario procedentes del campo generalmente no van al compás del incremento de la productividad.

La mecanización ha constituido la razón clave (aunque no la única) del incremento en la producción total y de la alta productividad por hombre y año que caracteriza a la agricultura estadounidense. La producción de trigo ha subido de 11.065 millones de litros, en 1875, a 23.575 millones en 1925 y a 84.576 millones en 1980. Desde 1950 el rendimiento de trigo ha ascendido de 1437 a 2874 litros por hectárea; el rendimiento de maíz, de 3309 a 7924 y, el de soja, de 1916 a 2351. La producción de patatas ha pasado de 19,2 toneladas por hectárea a 32,7. La producción por hombre-año en agricultura se ha incrementado a razón de casi el 6 por ciento anual, en comparación con el 2,5 por ciento de las demás industrias.

El número de explotaciones agrarias descendió de 6,5 millones en 1920 a 5,6 millones en 1950 y 2,4 millones en 1980. Ha desaparecido la agricultura de subsistencia, si olvidamos los que han adoptado ese estilo de vida por voluntad propia, y no por necesidad. Los agricultores producen hoy para el mercado, no para el consumo doméstico.

La población agraria y el número de trabajadores agrícolas han descendido junto con el número de explotaciones. En 1950 había 23 millones de personas en el sector agrario y en 9,9 millones se cifraba su población activa; en 1980, esos valores eran de 6 y 3,7 millones, respectivamente. ¿Qué ha ocurrido con la población agraria desplazada? En los primeros tiempos el excedente de trabajadores agrícolas suministró buena parte de la mano de obra que absorbía la industria. Desde la segunda revolución agraria norteamericana muchas de las personas desplazadas de la agricultura se han instalado en las ciudades, a menudo en una situación de miseria y desolación. Otros hinchan las bolsas de pobreza de los pueblos.

Una cuestión importante es la de si la sociedad estadounidense debe o no tolerar la persistente emigración de la población agraria. ¿O acaso tiene que fomentarla? La mecanización ha ayudado a mantener la familia rural al permitirle trabajar la superficie necesaria para constituir una unidad económicamente válida. Por otro lado, la inversión necesaria hoy para establecer una nueva explotación agraria impide prácticamente que una familia joven se incorpore a la agricultura, a menos que se haga cargo de una explotación agraria que sea ya de la familia. El propio agricultor establecido encuentra dificultades a la hora de conseguir créditos para adquirir más tierra y renovar sus equipos.

¿Quién debería hacerse cargo de la planificación de los agricultores que puedan quedar desplazados por las nuevas técnicas? Ciertamente no los inventores y técnicos. El campo no podría continuar manteniendo la producción agraria a un nivel satisfactorio si se detuviera la investigación. Henry A. Wallace planteó esta cuestión en 1940, cuando ocupaba la Secretaría de Agricultura, saliendo al paso de los ataques que recibía la investigación a causa de los elevados excedentes agrarios: "La ciencia, por supuesto, no es igual que el trigo o los automóviles", dijo. "Nunca caben excedentes... más todavía, el último conocimiento científico adquirido es siempre el mejor. Nuestros conoci-

mientos o crecen o mueren. No pueden conservarse en el frigorífico. Son perecederos y deben renovarse constantemente."

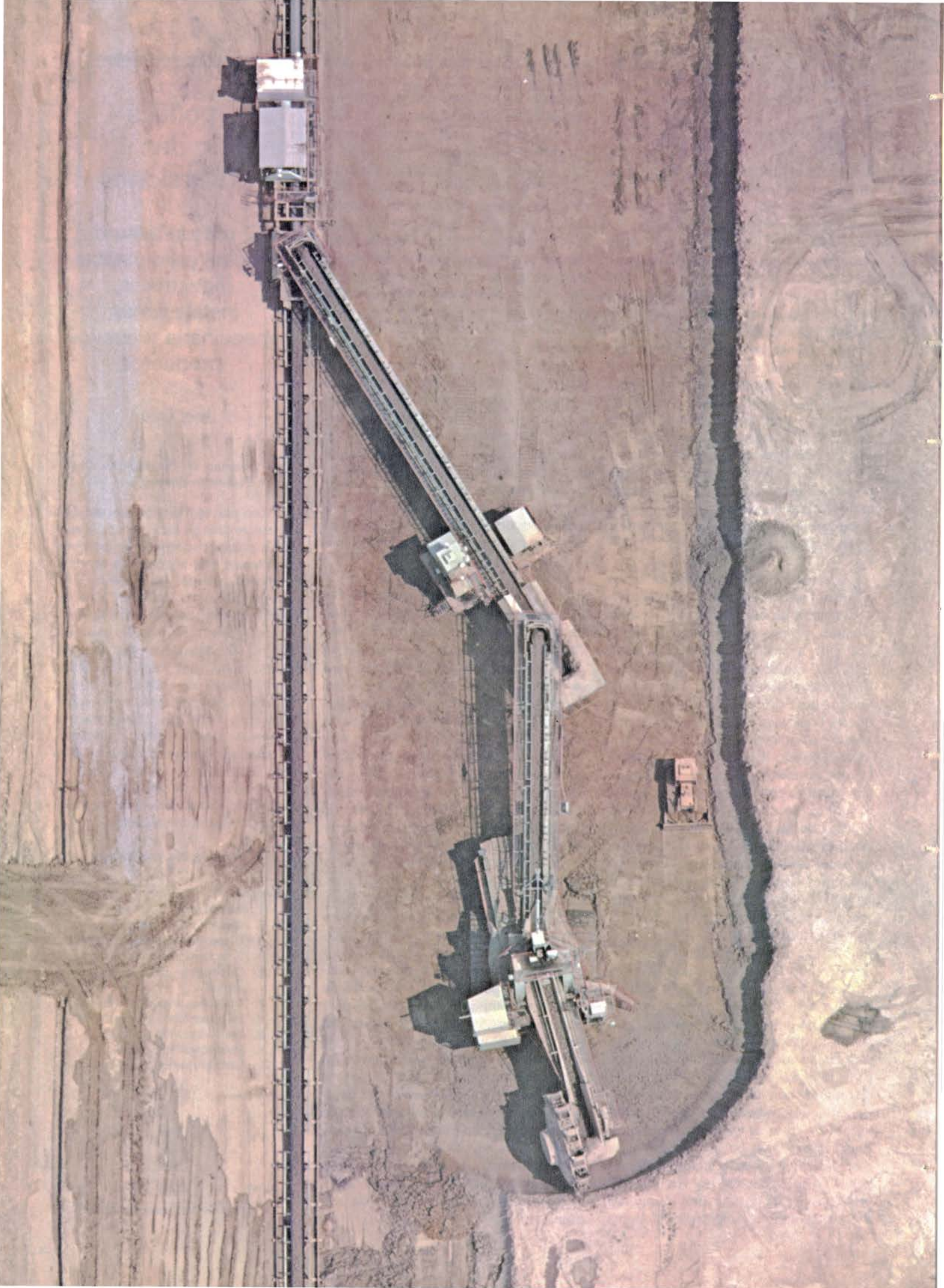
Tampoco debe esperarse que sean los fabricantes y suministradores de equipamiento quienes decidan el desarrollo o no de una técnica determinada, si de su aplicación se sigue que algunas personas queden sin trabajo. Con su desmotadora de algodón, los hermanos Rust avanzaron ya que semejantes restricciones no daban resultado. La solución no es limitar la investigación o detener el diseño e introducción de nueva maquinaria, aunque puedan ser adecuados algunos cambios de enfoque en la investigación realizada con fondos públicos. Los agricultores norteamericanos y sus familias viven hoy una vida más larga y más sana gracias, al menos en parte, a la mecanización de la agricultura. Cualquiera que sea la solución que se dé al problema del desempleo, no parece que fuera la más humana hacerles retroceder al trabajo de sol a sol desmotando algodón, aclarando remolacha o desgranando cereales.

A principios de esta década se apuntan indicios de que la productividad agraria ha alcanzado una meseta. Cuando menos, no aumenta al ritmo que vino haciéndolo desde 1950 hasta 1980. El número de explotaciones agrarias comerciales prosigue su descenso, aunque la velocidad de caída sea menor que la registrada a lo largo de los últimos 30 años; se está cultivando aproximadamente la misma superficie total y, lo que es más sorprendente, la población rural ha crecido más deprisa que la urbana en los últimos 10 años. Aunque muchas de las personas que han abandonado las ciudades viven actualmente en zonas suburbanas, en áreas clasificadas antes como rurales, podría haber habido un ligero incremento en el número de personas que habitan explotaciones agrarias.

Con una sola excepción, no se ven perspectivas de nuevos grandes avances en la mecanización de la agricultura. Si nos fuera dado juzgar el futuro por el pasado, no habrá cambios fundamentales hasta que se adapte a la agricultura una nueva fuente de energía comparable a la de las caballerías y los motores de combustión interna. Cabe esperar que quienes trabajan en investigación agraria y en la fabricación de equipamientos persistan en la mejora de las técnicas, renovando la maquinaria obsoleta y proyectando nuevos prototipos, en particular los que requieran menos peonaje y sustituyan la tierra por tecnología. Esta realización dependerá, en parte, del resurgimiento de la investigación agraria, que durante varios años ha sufrido los efectos de una financiación deficiente, tanto por parte del sector público como del privado.

Y vayamos con la excepción anunciada en el párrafo anterior: la aplicación de ordenadores a la gestión de la explotación agraria. Iniciada ya, se le promete un poderoso influjo. El ordenador deberá aportar una gestión más eficaz de la maquinaria y de la energía y ayudar en otras operaciones agrícolas tales como contabilidad de costes, proporción de los piensos compuestos y desarrollo de fertilizantes y otros recursos. Hay agricultores con su ordenador propio y son muchos los que tienen acceso a sistemas de cálculo a través del especialista agrario de su región. Se han desarrollado paquetes de programas de ordenador para satisfacer las necesidades de los campesinos en diferentes estados y comunidades y una importante empresa de ordenadores está introduciendo soporte físico y lógico diseñado para su empleo en explotaciones pequeñas.

¿Qué aspecto tendrá la explotación agraria mecanizada del año 2020? A buen seguro, se tratará de una vasta empresa comercial administrada por una familia. Cada vez resulta más evidente que las unidades familiares aventajan en mucho a las sociedades agrarias, debido, sobre todo, a que las familias aportan el grueso de la mano de obra requerida, supervisan directamente a los trabajadores a sueldo y tienen la posibilidad de beneficios diferidos. En segundo lugar, el motor de combustión interna constituirá la principal fuente de energía, a menos que se logre un buen aprovechamiento de la energía solar. En tercer lugar, la mecanización que se vaya agregando reducirá el trabajo más pesado de la explotación. Habrá máquinas y sistemas automáticos para la recolección de frutas y hortalizas que en 1982 se recogen todavía a mano, para dosificar el caudal de agua a los campos y tal vez incluso para la reparación de vallas. En cuarto lugar, una aplicación generalizada de los ordenadores mejorará la eficacia de las explotaciones agrarias. Por último, el agricultor y su familia disfrutarán de casi las mismas ventajas del habitante de la gran ciudad, manteniendo a la vez la sensación de ser un grupo aparte que trabaja la tierra, el agua y las semillas para suministrar una abundante oferta de alimentos a un gran número de personas.



# Mecanización de la minería

*A la larga, el coste por unidad de mineral extraído en una mina altamente mecanizada es mayor que el invertido en otra de escasa innovación técnica*

Robert L. Marovelli y John M. Karhnak

Siempre ha tenido fama la minería de ser un trabajo duro, sucio y peligroso. Constituye la industria por excelencia de manipulación de los materiales, que extrae de la tierra en enormes cantidades. En sus comienzos se trabajaba a pico y pala; y el rendimiento se aumentaba a destajo, incrementando el tonelaje de mineral que un hombre podía picar en una jornada de trabajo. Pero hoy la capacidad del minero se ha visto robustecida y dilatada por las máquinas y sistemas de máquinas. Los cambios habidos en tecnología, además de elevar la productividad, se han dejado sentir de una manera muy notable en la salud y seguridad del obrero.

Se ha recurrido a distintas fuentes de energía que contribuyeran a sacarle mayor partido al trabajo minero. Se utilizaron animales de tiro para mover bombas de drenaje y fuelles de ventilación. Para el transporte del mineral por las galerías subterráneas y posterior elevación hasta la superficie también se emplearon bestias de carga. Aplicando la energía del agua, a través de ingeniosos sistemas de engranajes, husillos y pozos se fue sustituyendo a los animales en sus trabajos. La energía térmica aportada por fogatas de leña calentaban las rocas, que posteriormente se agrietaban al enfriarlas con agua. Esta técnica la describe con detalle Georgius Agrícola en su tratado *De Re Metallica*, de 1556.

El descubrimiento de la máquina de vapor a principios del siglo XVIII marcó el comienzo de la verdadera mecanización del sector. Por primera vez, se pudieron extraer minerales y carbón de grandes profundidades y de extensos lechos horizontales al disponer de suficiente energía para perforar, cortar, cargar, mover y elevar, así como para bombear el agua y ventilar adecuadamente. Pero las minas no son fábricas, y los avances en productividad tienden a ser lentos y muy costosos. Máquinas que en principio parecían prometedoras resultaron inadecuadas e inseguras en las condiciones reales de la mina.

Los auténticos progresos en la mecanización de la minería llegaron con la eclosión de innovaciones que siguieron a la terminación de la segunda guerra mundial. Fue entonces cuando se desarrolló la construcción de máquinas muy sólidas, al tiempo que se idearon nuevos sistemas de utilización. Merced a tamaña mecanización, más del 80 por ciento de los minerales que necesita la economía estadounidense se extraen hoy de fuentes locales con el trabajo de menos del 1 por ciento de la fuerza laboral.

Para medir la productividad real, es preciso un complejo análisis de los costos del capital y de la mano de obra; también hay que tener en cuenta determinados factores geológicos, entre ellos la calidad del mineral y accesibilidad al mismo. El análisis lo enredan más todavía la rapidez y aleatoriedad con que cambian dichos factores. Sin embargo, la productividad expresada como rendimiento por unidad de mano de obra empleada es una medida importante de la eficacia global de la minería. Es la que utilizaremos aquí.

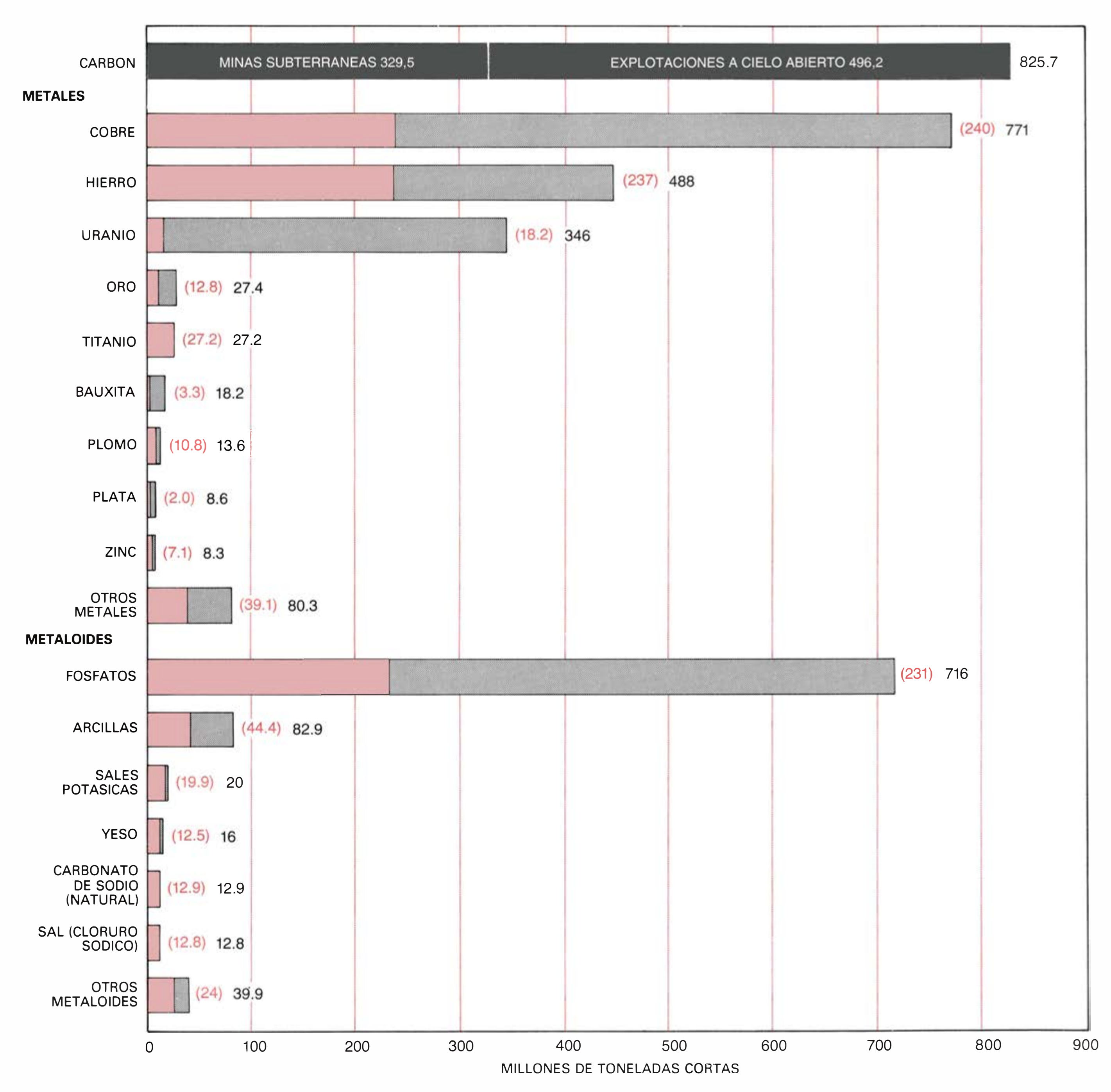
Los efectos de la mecanización en la productividad y en las condiciones de trabajo están muy entrelazados. En la minería del carbón, que es con mucho el sector más importante de la industria minera norteamericana, la productividad aumentó poco hasta 1950. Dio entonces un salto brusco, alcanzando el máximo en 1970; fecha a partir de la cual ha venido disminuyendo (por razones que describiremos). El recurso a la fuerza muscular se ha reducido mucho. Las muertes por accidente en la mina, que era normal superasen los 2000 anuales hasta 1930, se han reducido en más de 10 veces. Si bien a lo largo de ese período se intensificaron algunos de los peligros de accidente y salud debido a las nuevas máquinas. El cambio hacia minería de superficie o de cielo abierto registrado tras la terminación de la segunda guerra mundial contribuyó en gran medida a reducir el número de accidentes mortales: inherentemente más seguro dicho cambio, la mayor productividad ha rebajado el número de trabajadores en condiciones de riesgo.

En 1925, unos 588.000 hombres, vale decir el 1,3 por ciento de la masa laboral de la nación, trabajaban en la extracción de 520 millones de toneladas de hulla y lignito, en su mayor parte bajo tierra. El año pasado la producción subió a 774 millones con sólo 208.000 hombres, de los cuales sólo 136.000 trabajaban bajo tierra. Las mi-

**EXCAVADORA BUCKET-WHEEL, ejemplo de las enormes proporciones y elevado coste de la maquinaria introducida recientemente en la minería del carbón. Además de esa excavadora, la mina Captain, situada al suroeste de Illinois, posee otra de similar magnitud. La mina pertenece a la compañía Arch Mineral; rinde 4,5 millones de toneladas anuales. Una de las excavadoras remueve los 50 primeros centímetros de la capa superficial. La máquina de la fotografía arranca los cinco o seis metros de tierra siguientes. El material arrancado por las dos máquinas recorre dos kilómetros y medio a lomos de cintas transportadoras, que lo depositan en pilas separadas con el fin de tener el material preparado para una posible y eventual restauración del perfil de las tierras arrancadas. (La ley establece que se restauren los contornos originales del paisaje si es suelo de cultivo y no se deprecie su valor desde el punto de vista agrícola.) Hasta hendir en las capas de carbón habrá que excavar 26 metros de profundidad. Se levantarán otros siete metros para acceder a la segunda capa. Las dos capas miden, sumadas, tres metros de espesor. Casi el 60 por ciento de las horas invertidas en las minas transcurren en la remoción del estéril de la sobrecarga y retirar la tierra; sólo la fracción porcentual restante se empeña en la explotación del carbón. La empresa O & K Orenstein & Koppel Aktiengesellschaft construyó la excavadora.**

nas de superficie muy mecanizadas y de alta productividad rindieron 482 millones de toneladas, lo que representó el 62 por ciento, con sólo 72.000 trabajadores. (En 1979, la minería del carbón empleaba, en España, a 51.872 personas.)

La plantilla del año pasado estaba formada por 756.000 hombres y mujeres, de los que 300.000, o sea, el 40 por ciento aproximado, pertenecían al subsector del petróleo y del gas, alcanzándoles el título de minero sólo por comodidad de clasificación. La mitad del resto, es decir 208.000, trabajaban el carbón; otros 93.000 se dedicaban a minería no metálica y canteras, y alrededor de 57.000 laboraban en distintos yacimientos minerales de metales (cobre y hierro principalmente). Había, además, unos 107.000 empleados en lavaderos y talleres asociados a las minas, que también se clasifican como mineros; no así los empleados de oficinas. Esta fuerza laboral satisfizo el 83 por ciento de la demanda de combustibles fósiles que aportaran energía y un 90 por ciento de la demanda de todos los demás minerales por su valor en dólares, único denominador común a una



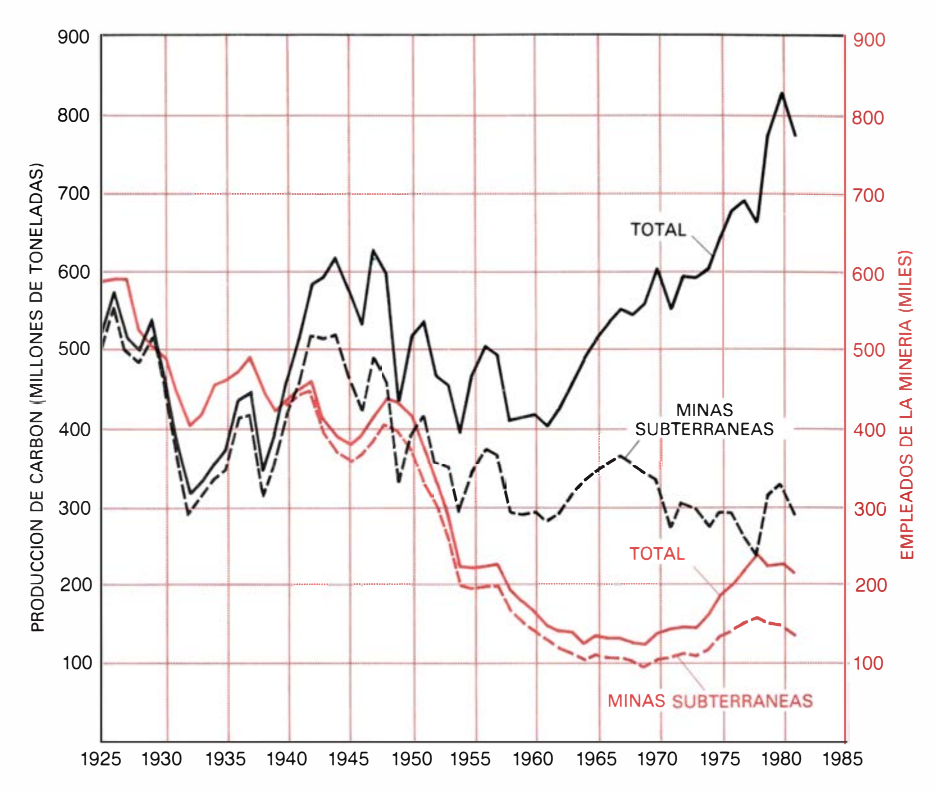

**PRODUCCION MINERA DE LOS ESTADOS UNIDOS. Como puede apreciarse en los diagramas, está dominada por el carbón. El sector produjo, en 1980, 825.700.000 toneladas de carbón bituminoso y lignito, cuya proporción destaca sobre el rendimiento de otros minerales. En las barras que señalan el tonelaje total de otros minerales figura el estéril en gris y el mineral extraído en color. Aunque no se han tomado datos equivalentes para el carbón, el tonelaje de estéril manipulado en la superficie de las minas, que es el 60,1 por ciento de la producción total, sobrepasa, a buen seguro, los 4000 millones de toneladas. Este tonelaje no registrado representa el estéril de la sobrecarga de tierra y roca removidos hasta alcanzar las capas de carbón situadas a 61 metros de profundidad. Aunque se trata de un alto volumen de movimientos de tierras, hay que tener en cuenta, sin embargo, sus bajos valores en relación con los productos de la minería: arena y gravas (794 millones de toneladas) y rocas molidas y clasificadas (1060 millones de toneladas). Comparada con el carbón, la producción de petróleo de 1980 fue de 570 millones de toneladas (3700 millones de barriles) y 450 millones de toneladas de gas natural.**

categoría tan diversa. (De las 56,4 × $10^{15}$ British thermal units de energía extraída de combustibles fósiles estadounidenses en 1981, el carbón dio el 28,4 por ciento, el petróleo el 36,6 por ciento y el gas natural el 35 por ciento. El gasto total de la nación en combustibles fósiles el año pasado fue de 260.000 millones de dólares, incluidos los 77.000 millones de petróleo importado; el valor del carbón a bocamina fue de unos 20.000 millones de dólares.)

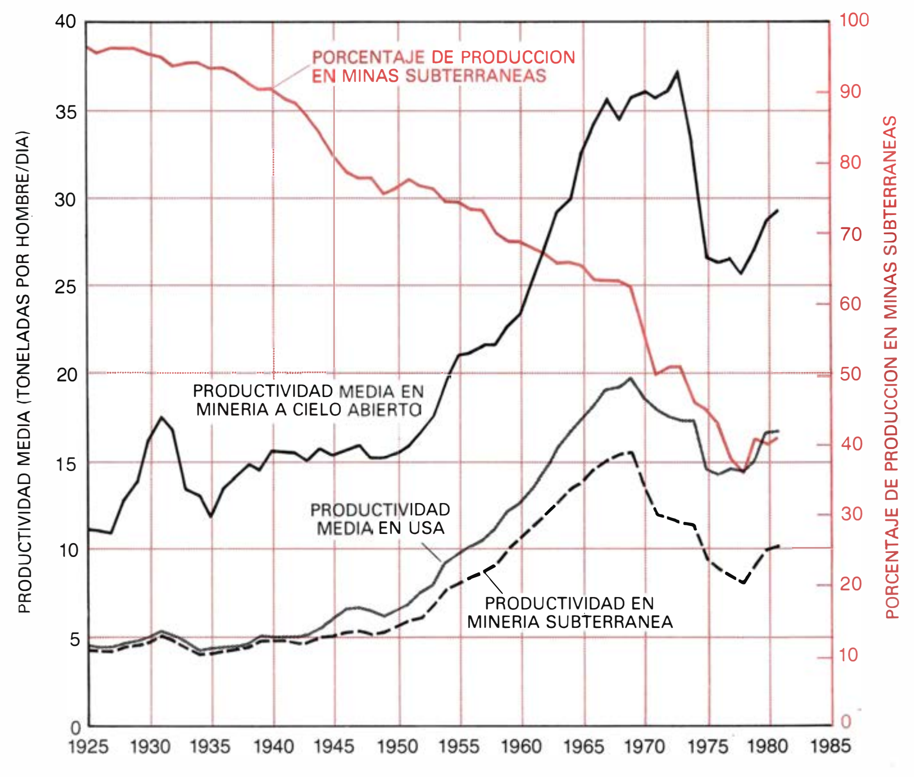
Las 774 millones de toneladas producidas el pasado año entre hulla y lignito excedió los cálculos provisionales de la suma de los tres siguientes minerales: hierro (264 millones de toneladas), cobre (306 millones de toneladas) y fosfatos (203 millones de toneladas). De los materiales arrancados de la tierra el carbón fue el segundo en tonelaje, sólo sobrepasado por las rocas trituradas (873 millones de toneladas). Si se tuviese en cuenta la ingente masa de tierra y rocas que hubo que remover para acceder a las 482 millones de toneladas de carbón extraído a cielo abierto el año pasado (que se calcula en 10 toneladas por cada tonelada de carbón), el sector del carbón sobrepasa con mucho a cualquier otro en lo concerniente a masa total de material movido.

Son pocos los minerales que hoy se extraen, en su mayor parte, de galerías subterráneas; la mayoría de los cuales, además, resultan de escaso tonelaje. Los principales minerales metálicos que se obtienen preferente o totalmente de minas subterráneas son el antimonio, el plomo y el tungsteno (del 98 al 100 por ciento subterráneo), molibdeno (62 por ciento) y plata (60 por ciento). Entre los no metales sólo hay tres substancias importantes que se extraigan, de un modo destacado, por pozos: sales de potasio, cloruro sódico y carbonato sódico natural. El número de mineros norteamericanos que pasan su jornada laboral enterrados no superan los 160.000, tres cuartos de los cuales trabajan el carbón. La variedad y cantidad de materiales obtenidos a cielo abierto es mucho mayor: cerca del 95 por ciento de los minerales metálicos y el 75 por ciento de los no metálicos se extraen en minas de superficie.

En la minería del hierro y el cobre a cielo abierto los avances principales se deben, en su mayor parte, a la economía de escala. Mayores máquinas para movimiento de tierras, mayores taladros para voladuras, mayores palas para cargar, camiones mayores, etcéte-




**HISTORIA DE LA MINERIA DEL CARBON** en los Estados Unidos, desde 1925. El gráfico nos muestra sus frecuentes y bruscos altibajos en la demanda (*negro*) y en la fuerza laboral (*color*). Pero el giro más sobresaliente se ha dado en el desplazamiento de los puntos de trabajo de las minas subterráneas, desde la segunda guerra mundial. En 1945, el 94 por ciento de los 383.000 mineros de la nación trabajaban todavía en galerías subterráneas. Hoy el sector acoge sólo a 208.000 obreros y no llega a dos tercios la cifra que trabaja en minas subterráneas. A finales del decenio de 1920, la producción media era de 950 toneladas de carbón por hombre y año. La producción actual raya las 3700 toneladas de mineral por hombre y año.



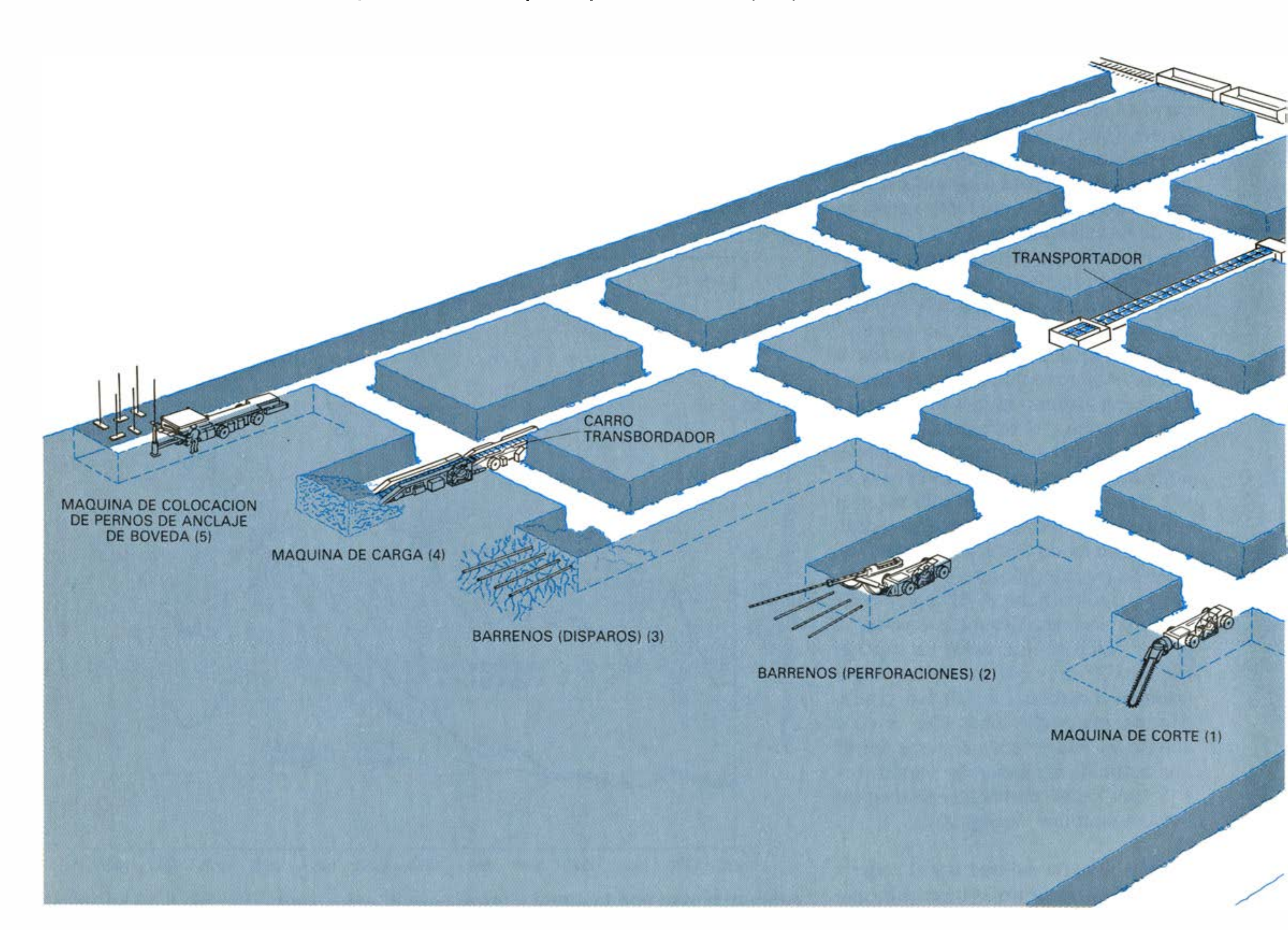

**PRODUCTIVIDAD POR HOMBRE Y DIA** en minas de carbón. Creció a un ritmo de 1,6 por ciento anual entre 1925 y 1950. A lo largo de los 20 años siguientes, la introducción de máquinas de trabajo continuo bajo tierra y maquinaria pesada de movimiento de tierras en minas de superficie supuso que el arranque por hombre y día ascendiera a un ritmo anual de 5,3 por ciento. Parte de esa ganancia se perdió a raíz de la legislación elaborada para mejorar las condiciones de salud y seguridad de los mineros. Desde 1974 la productividad en las minas de superficie descendió vertiginosamente por múltiples razones, incluida la ley de reclamación de tierras. En los últimos tres años la productividad ha vuelto a elevarse otra vez.

ra. Al abordar la productividad en la minería del hierro, hemos de distinguir, sin embargo, entre toneladas de mineral bruto y mineral útil; en la minería del cobre, entre toneladas de mineral bruto y toneladas de mineral recuperable. En ambos casos, la mayor productividad en la minería del mineral bruto se ha seguido, en parte, de una disminución en la concentración metálica del material bruto. Desde 1952 la producción de mineral de hierro bruto en tonelada larga por hombre-año (medida que suele usarse en este sector, y que equivale a unos 1016 kilogramos) casi se cuadriplicó, desde 3600 a 12.700. En el mismo período, la producción de mineral útil aumentó menos de la mitad, de 2750 a 4200 toneladas largas por hombre-año. El record de 5200 toneladas largas se produjo en 1972.

Los aumentos de productividad en la minería del cobre, en el mismo período, fueron notablemente inferiores. Entre 1950 y 1981 la producción de mineral bruto aumentó de 3700 toneladas cortas (donde una tonelada corta equivale a 907 kilogramos) por hombre-año a algo más de 9000, pero el aumento de producción de metal recuperable fue mucho menor: de 35 a 50 toneladas por hombre y año. En 1950 cada tonelada bruta daba una media de 19 libras (8,7 kilogramos) de cobre; para 1981 el rendimiento había bajado a unas 11 libras por tonelada.

En minas de cobre a pozo abierto hay tres operaciones básicas: perforar barreras para voladuras, cargar camiones y transportar el mineral. Del análisis del sector se deduce que el menor aumento de la productividad se ha conseguido en el transporte, aun cuando se usan ahora camiones de mucha mayor capacidad. La razón estriba en que, a medida que el pozo se hace mayor y más profundo, el mineral se tiene que subir una altura mayor y transportar más lejos. Parece que la economía de escala ha llegado a un estancamiento temporal en la minería del cobre a pozo abierto. El sector espera dar un nuevo paso adelante con la ayuda de computadores que mejoren la coordinación del sistema minero, con el uso de máquinas arrancadoras y rompedores autopropulsados y con la adopción de cintas transportadoras para movimientos difíciles y largos.

La mecanización en la minería del carbón puede fecharse casi en el nacimiento de esa industria. Algunas de las primeras máquinas de vapor sirvieron para bombear agua de la mina; luego se usaron para ventilación y transporte de hombres y material desde la superficie hasta el nivel de trabajo. Bajo tierra se emplearon perfora-



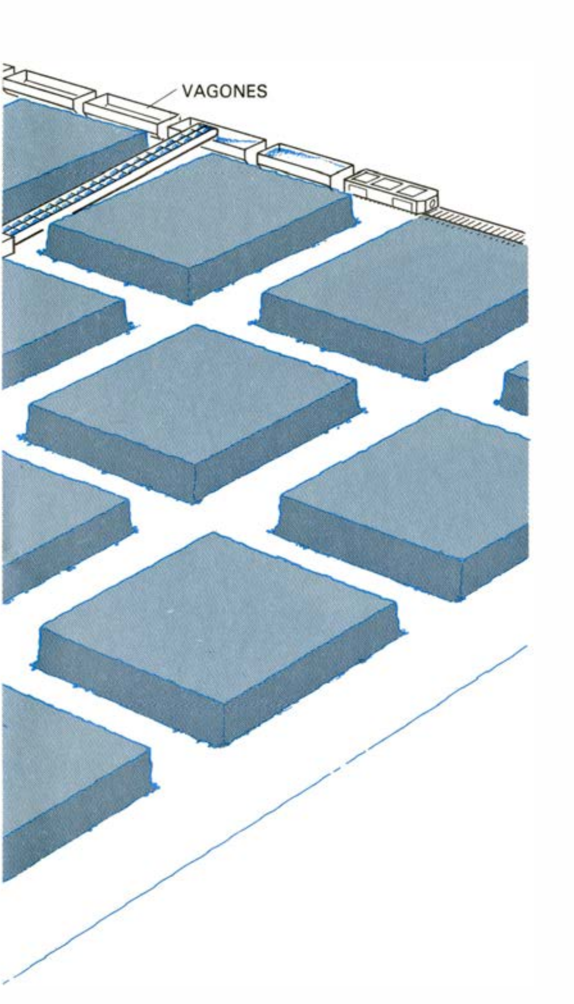

**EXPLOTACION POR CAMARAS Y PILARES: método tradicional empleado en las minas subterráneas de carbón norteamericanas desde el siglo XIX. Las cámaras son espacios vacíos de donde se ha sacado el carbón; los pilares, bloques de carbón de 12 a 24 metros de lado dejados para soportar el techo de la mina. En el estadio final de explotación de una capa, se extrae el carbón de los pilares, permitiendo el derrumbamiento de la bóveda. En la minería tradicional, representada en el dibujo de la izquierda, se ilustran, secuenciadas, las cinco operaciones principales. Las máquinas usuales en cada operación aparecen a la derecha. En el primer paso se abre una ranura de 150 milímetros de alto por tres metros de profundidad, a través de la base de la capa, con**

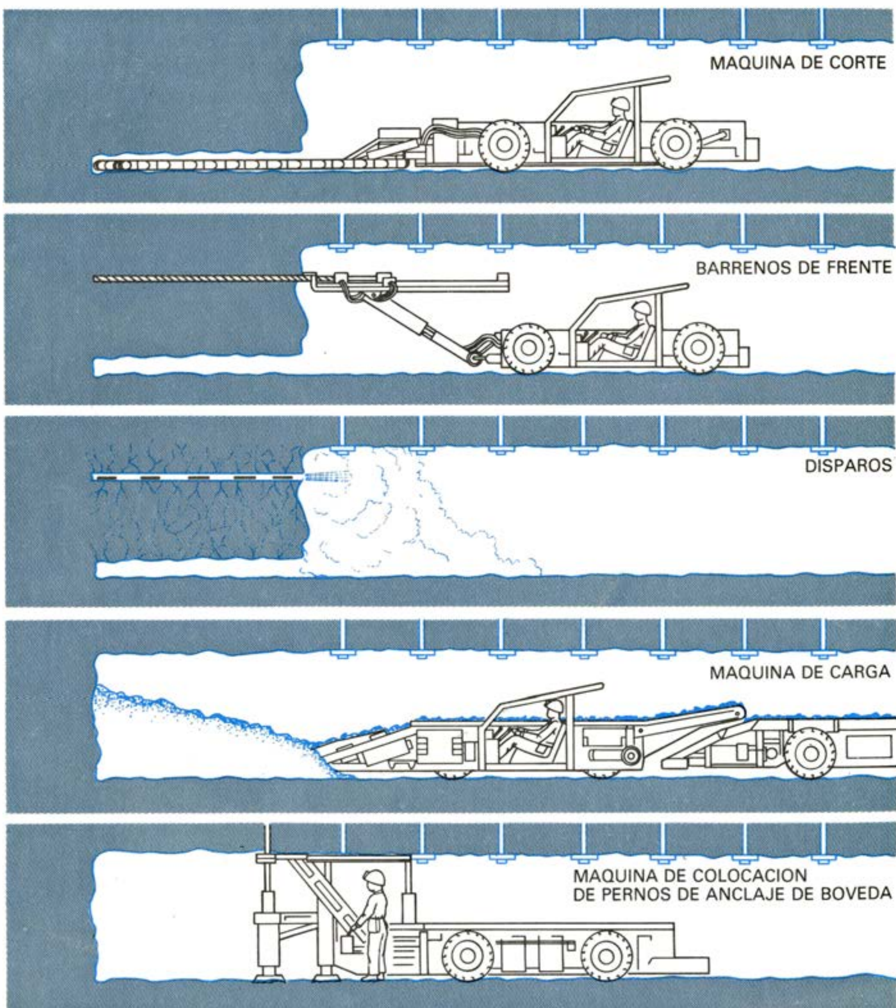
doras a vapor y locomotoras, pocas, que fueron sustituidas muy pronto por accionamiento con aire comprimido. A comienzos de 1888 se dispuso de electricidad en las minas para iluminación y accionamiento de maquinaria. Empezando el siglo, la fuerza eléctrica se generalizó a distintas aplicaciones, incluidos el barrenado y el corte inferior de los frentes para preparación de voladuras. Antes de que concluyera la segunda guerra mundial, el 90 por ciento del carbón norteamericano se cortaba por rozadoras.

A pesar del temprano avance en la mecanización de la minería subterránea, no se registró ningún progreso espectacular en la productividad de la primera mitad del siglo xx. En 1897, un hombre con un pico y una pala sacaba 3 toneladas de carbón por día. En 1925, la media de producción por hombre en una jornada un tanto más corta era de 4,5 toneladas. Veinte años más tarde, la productividad había aumentado en sólo un poco más del 10 por ciento, hasta 5 toneladas por hombre y día. Comparativamente, las ganancias desde entonces han sido importantes. En 1969 la productividad alcanzó las 15,6 toneladas por hombre y día, menguando la fuerza laboral de la minería subterránea hasta sólo 99.000 hombres.

La caída de la productividad de los años 70 se puede atribuir a distintos factores. El mínimo de 8,4 toneladas por hombre y día se dio en 1978; el empleo en la minería subterránea tuvo un alza correspondiente (hasta 160.000). Una de las causas principales fue, sin duda, la instauración de regulaciones de seguridad más estrictas; otra, los problemas laborales. También influyó la calidad decreciente de los recursos accesibles; en todos los tipos de minas se trabajan primero los recursos inmediatos, por lo que la extracción tiende inevitablemente a ser cada vez más cara a medida que se ahonda o se aleja de la boca. Algunos técnicos creen que la misma mecanización constituye una tercera causa del bajo rendimiento: el descansar en máquinas cada vez mayores, aunque en número menor –aducen–, hace que el trabajo de la mina sea más susceptible de paradas por averías. Sea cual fuere la razón de la pérdida de productividad, la reciente recuperación la ha elevado hasta las 10 toneladas por hombre y día.

La minería abierta, con su potencial de mecanización a gran escala, creció muy poco hasta la segunda guerra mundial. Entre 1925 y 1941 asistimos a un suave ascenso de la producción a cielo abierto: desde el 3,2 por ciento del total de la producción de carbón hasta el 9,2 por ciento. Para 1945,




**una máquina provista de una larga barra de corte. Se perfora luego una serie de agujeros de tres metros de profundidad en el frente de la capa de carbón y por encima de la ranura; se cargan con explosivos. La detonación de 4,5 a 7 kilogramos de explosivos provoca la fractura de unas 50 toneladas de carbón, que caerán desparramadas por el suelo de la mina. Entonces una máquina cargadora transporta el carbón triturado a un vagón de espera, que arrastra el carbón hasta una cinta transportadora. La cinta acarrea el carbón a una línea transportadora principal (que puede ser otra cinta o ferrocarril) para sacarlo de la mina. En la etapa final se inserta una serie de clavos de acero en el techo de la mina para sujetarlo y evitar caídas. La secuencia se repite.**

sin embargo, la proporción de carbón procedente de minas de superficie se había más que doblado, hasta llegar al 19 por ciento. La minería abierta recobra el 62 por ciento del carbón en Estados Unidos.

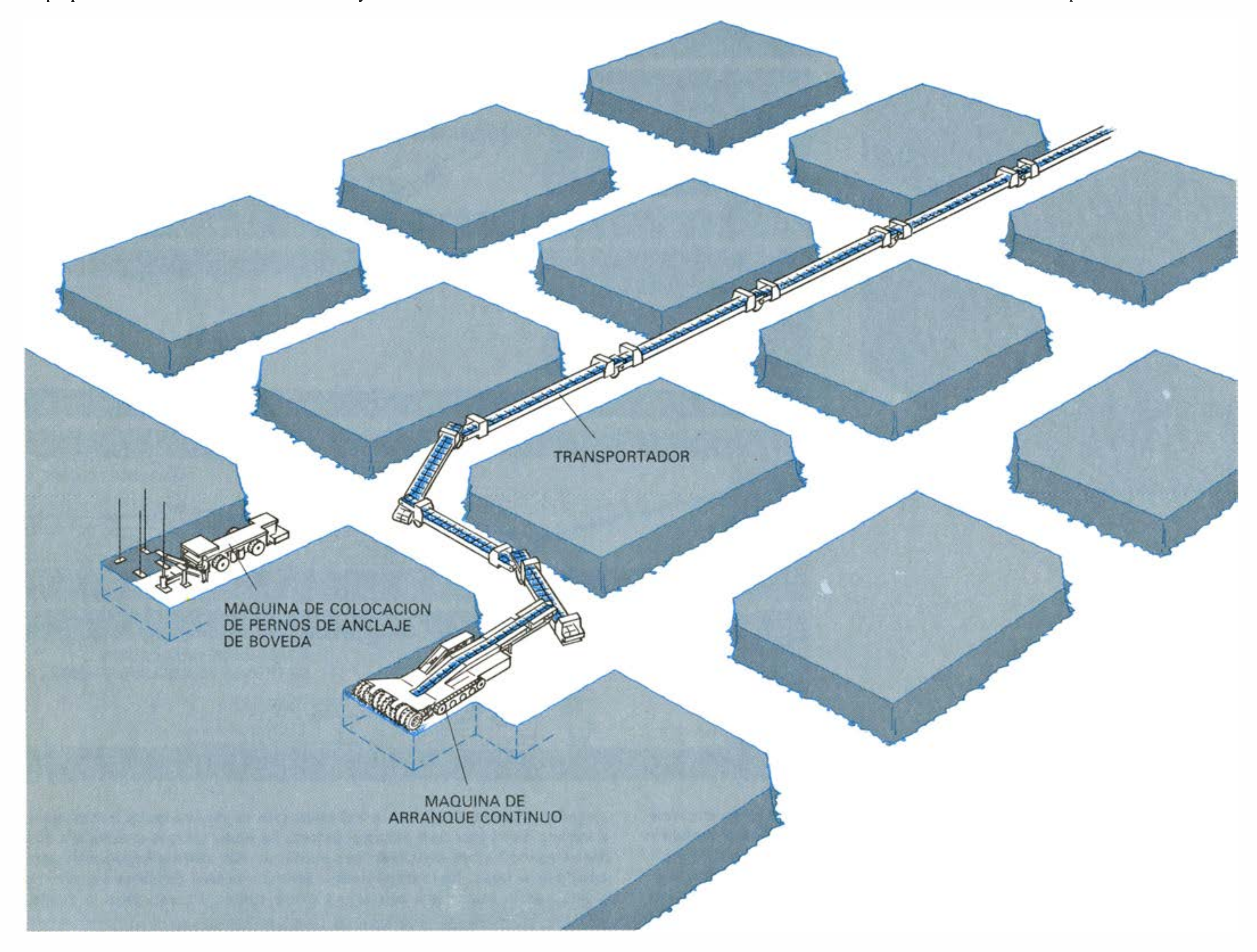
La productividad de la minería de superficie ha sido siempre mayor que la subterránea. Fue de unas 11 toneladas por hombre y día en 1925 y de 15,5 en 1945. Se consiguió un máximo de 36,7 toneladas por hombre y día en 1973. A partir de entonces, como en la subterránea, decae. Entre otras razones, se constatan las nuevas condiciones dictadas para la minería, aunque las exigencias a cielo abierto no tenían tanta relación con la seguridad como con la restauración de los campos explotados, cuyos perfil y productividad agrícola debían volver a parecerse a los originales. La productividad cayó a menos de 26 toneladas por hombre y día en 1978; a partir de esa inflexión se ha observado una firme recuperación, llegando a las 30 toneladas actuales.

Mientras que la productividad en la minería de superficie ha ido de la mano del aumento de tamaño y eficacia del equipo de movimiento de tierras y minerales, para potenciar la productividad de la minería subterránea se han exigido nuevas técnicas. Fenómeno que se puso de relieve, sobre todo, en la minería del carbón. La misma diversidad geológica de las venas de carbón constituye uno de los principales frenos a las innovaciones técnicas. En Virginia occidental, el carbón sale en venas cuya anchura oscila desde los 61 centímetros hasta los 5,5 metros. La mayoría de las venas son muy planas y en muchas de ellas se puede entrar desde la ladera de una colina; son contadas las que se acercan al centenar de metros de profundidad. En Colorado, por el contrario, hay minas a 910 metros de profundidad, con venas de hasta 30 grados de inclinación. Existe también una extensa variedad en tamaños con unos rendimientos que oscilan desde unos cuantos miles de toneladas anuales hasta los 15 millones largos.

Los depósitos de carbón están muy repartidos en los Estados Unidos. Ello explica que hayan atraído a miles de pequeños empresarios. Entre la primera y la segunda guerra mundial, el número de minas de hulla varió entre 5400 y más de 9300, sin apenas alterarse la cifra de empresas mineras. Hoy unas 3500 compañías explotan alrededor de 6000 minas. La empresa principal, la Peabody Coal Company, no explota más del 8 por ciento del total; hay que reunir el 50 por ciento de las empresas para sumar el 65 por ciento de la producción.

La mina subterránea típica se proyecta en forma de tablero de ajedrez con espacios y columnas, un sistema de minería norteamericana que data del siglo XIX. Los espacios son huecos de los que se ha extraído el carbón. Las columnas son pilares de carbón de 12 o 24 metros de lado que se dejan intactos para soportar el techo de la mina. Cuanto más profunda sea la mina, mayores los pilares. Al final, se extrae el carbón de estos pilares cortándolos a partir del punto más alejado del frente de avance y dejando, de forma controlada, derrumbarse el techo a medida que se quitan los soportes.

Para abrir una mina de tipo celular se excavan túneles de entrada y salida en el carbón virgen. Mineros y maquinaria se transportan al frente de trabajo en un tren subterráneo, que también saca

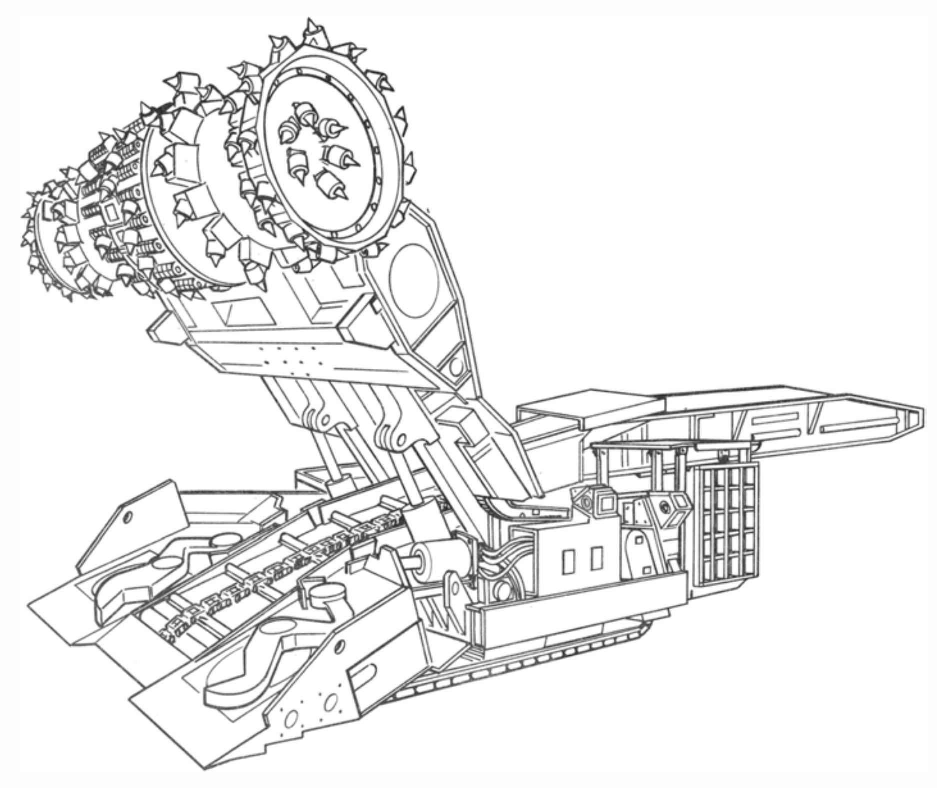


el carbón a la superficie. El minado se realiza desde múltiples "entradas" cortadas paralelamente a la galería principal, a las que se accede por túneles transversales. La secuencia de los trabajos en el frente de ataque en 1947 le resultaría familiar a un minero de 1897, si prescindimos del cambio constituido por la sustitución de la fuerza muscular por la mecánica o de otro tipo.

La minería convencional recurre a los explosivos químicos para arrancar el carbón de la veta. En el decenio de 1940, las minas de carbón norteamericanas consumieron anualmente unos 225 millones de kilogramos de explosivos, casi la mitad del total usado en minería y canteras y un 40 por ciento del total de explosivos vendidos para usos industriales. (El año pasado, la industria del carbón gastó mil millones largos de kilogramos de explosivos, la mitad del total industrial; el 98 por ciento de esta cantidad, sin embargo, se consumió en minas a cielo abierto.) Para hacer eficaz la explosión se corta una ranura de 150 o 200 milímetros de alto y tres metros de profundidad en la base de la vena. Este corte lo realiza hoy día una máquina rozadora equipada con cuchillos móviles, que recuerdan una sierra de cinta; en 1897, los mineros se servían del pico para abrir una ranura menor. La ranura ofrece una cara libre adicional por donde puede expansionarse el carbón al producirse la explosión.

Consiste el paso siguiente en taladrar una serie de agujeros en el frente del carbón, paralelos y por encima de la ranura. Los agujeros miden 51 milímetros de diámetro por tres metros de profundidad, a intervalos de medio metro. Se cargan los agujeros con siete o nueve barretas de explosivo. De 4,5 a 7 kilogramos de carga removerán unas 50 toneladas de carbón. Las cargas explosivas se conectan con detonadores eléctricos, que reaccionan a distancia. El montón resultante de carbón suelto se recoge del suelo de la mina mediante una cargadora de dos patas (o brazos) y se lleva por cinta hasta un vagón u otro mecanismo de transporte. Ya en 1947 se cargaba mecánicamente alrededor del 60 por ciento del carbón subterráneo. Procedimiento que coexistía con más de 10.000 animales de tiro, la mayoría mulas, para el transporte.

La última etapa de este tipo de minería celular es la de apuntalar el techo dejado al descubierto. En 1947 el armazón se reducía a una estructura de vigas de madera. Pero un año antes algunas minas habían comenzado a experimentar con apeos metálicos, introducidos ya desde 1927 en la minería de otros materiales. Estos apeos, de un metro a dos de largo, suelen colocarse a intervalos de un metro, formando una parrilla. Los apeos se mantienen en posición mediante una funda de extensión mecánica o, más recientemente, de resina poliéster. Los apeos unifican los distintos estratos superiores a la vena de carbón, para soportar el techo de la mina. A través de tales métodos se elevó el rendimiento medio de carbón en las minas subterráneas hasta las cinco toneladas por hombre y día en 1947. Las minas más mecanizadas con venas de tres metros y pico de espesor consiguieron doblar los resultados.



**LAS MAQUINAS DE ARRANQUE CONTINUO,** que aparecieron en 1948, también trabajan en minas de cámara y pilares. Las máquinas arrancan el carbón del frente de la capa y lo cargan en un primer eslabón. Las modernas máquinas de arranque se construyen con varias medidas para operar en capas de medio a tres metros de espesor. Las máquinas más usuales tienen unos rodillos rotativos provistos de cuchillos de corte que excavan el frente de la capa. El rodillo se conduce desde la parte superior de la capa hasta la parte inferior. Unos brazos mecánicos empujan el carbón caído hacia el transportador central, que descarga el carbón en vagones o en cinta transportadora extensible, acoplada a la parte trasera de la máquina. En cuanto esta última ha avanzado unos seis metros se desplaza a otro frente, de suerte que la parte donde se ha hecho el arranque se apuntale con pernos de anclaje en el techo. Las máquinas de arranque continuo suponen el 65 por ciento de los sistemas de arranque en las minas de carbón.

A finales de 1948, varias minas comenzaron a probar en secreto los primeros modelos de máquinas de minado continuo. El prototipo construido por la Joy Manufacturing Company, de Pittsburgh, removía y cargaba el carbón en un solo paso a partir del frente sólido. La máquina original tenía un conjunto de cadenas cortantes montadas verticalmente en un cabezal oscilante. Las cadenas se introducían en la base del frente de trabajo y rasgaban la vena de abajo arriba, de la base al techo. El carbón se llevaba a la parte posterior de la máquina mediante cinta y se echaba en una vagoneta de tren continuo. La empresa Joy pregonaba que su máquina aumentaría la productividad de una mina típica hasta 15 toneladas por hombre y día.

La industria se mostró escéptica. Muchos de sus clientes pagaban una cantidad suplementaria de varios dólares por tonelada, si el carbón tenía un tamaño determinado. Pero si la nueva máquina aumentaba la proporción de menudos y polvo (de menos de 9,5 milímetros de diámetro), se anulaba buena parte del ahorro por mayor productividad. Algunos ingenieros de minas también se preguntaban sobre la presunta economía obtenida con la energía eléctrica para partir el carbón en sustitución de explosivos, más baratos. La cuestión cobró entonces tal importancia que una organización financiada por la industria, la Bituminous Coal Research, escogió a una mina y la financió con el objeto de minimizar el costo de fractura del carbón. La máquina fracasó. Pero a medida que fueron saliendo modelos mejorados de la máquina Joy

y se diseñaron otros prototipos más competitivos, remitió el escepticismo de los empresarios.

Las máquinas de extracción continua que se fabrican hoy son mayores y más potentes que la original de Joy, aunque siguen regidas por el mismo principio. La principal diferencia estriba en que se han sustituido las cadenas de corte por un tambor giratorio de unos 60 centímetros de diámetro y 200 o 400 milímetros de ancho; lleva unos picos de acero con puntas de corte de carburo de silicio. El tambor gira a unas 60 revoluciones por minuto. Se introduce en la parte alta de la vena de carbón a una profundidad igual a su diámetro y, luego, se baja; así va cortando todo el frente. Unos brazos habilitados a tal fin, portan el carbón ya arrancado hacia el centro; desde allí, una cinta lo entrega a una vagoneta o a otra cinta. Cuando la máquina ha avanzado unos seis metros, se cambia a otro sitio y se apuntala el techo. Las máquinas continuas se generalizaron en las postrimerías del decenio de 1950 y a lo largo del siguiente; ahora, casi dos tercios de todo el tonelaje subterráneo se extrae de esta manera.

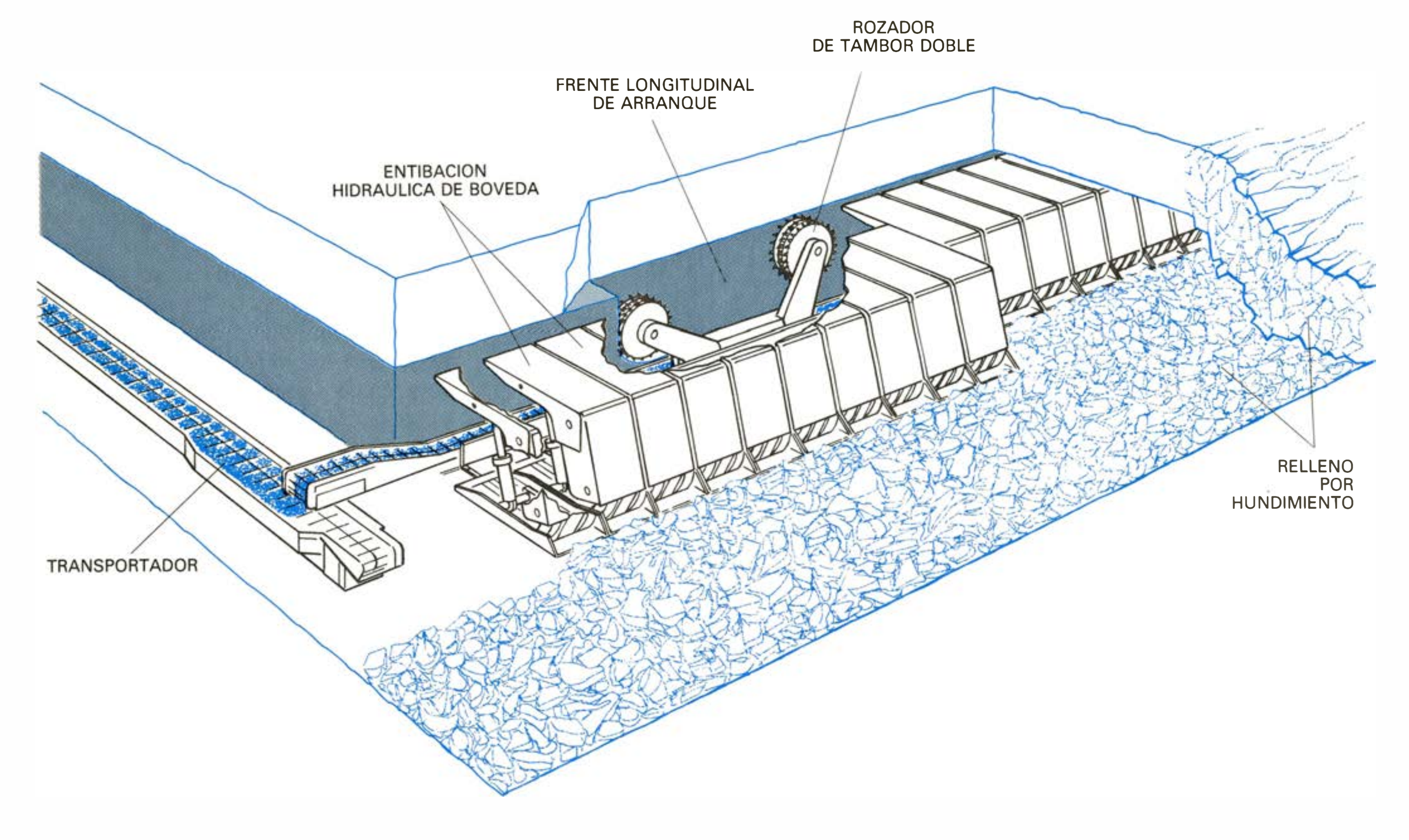
A medida que las minas de carbón se infiltran a mayores profundidades hay que dejar columnas más sólidas que soporten los estratos superiores. Aunque se puede pasar de extraer el 50 por ciento del carbón total hasta el 70 por ciento, quitando las columnas en secuencia contraria y dejando derrumbarse el techo, esta "minería de retirada" requiere conocer muy bien el entorno y larga experiencia, ya que puede resultar más peligrosa que otras formas de minería. De ahí la creciente atención que está recibiendo otro sistema alternativo del celular. Nos referimos al minado de frente largo, practicado durante muchos años en minas europeas de profundidad.

La técnica minera de frente largo permite extraer un bloque continuo de carbón. Miden los bloques de 120 a 180 metros de ancho del frente, si bien en algunas minas europeas sobrepasan el kilómetro y medio de anchura. Una máquina especial, un rejón o una cortadora por ejemplo, viaja a lo largo del frente sobre guías, o vías, arrancando el carbón y depositándolo en una cinta que lo lleva hasta el punto central de transporte, al final del frente. Elemento esencial del método del frente largo es el sistema móvil de apeos que soporta el techo inmediato al frente en toda su anchura. A medida que la minadora avanza en el frente, se trasladan los soportes, dejando que se desplome el techo que queda detrás de los soportes.

Hasta mediado el decenio de 1970 la minería del frente largo no había logrado afianzarse en los Estados Unidos. Se había probado en la cuenca carbonífera de Illinois ya en 1962, pero una serie de fallos hizo desistir en su empeño. En 1975 no llegaban a 60 los frentes en activo. Pero ese mismo año, algunas minas de Illinois, el lugar de los primeros fallos, instalaron un nuevo sistema de apeos hidráulicos, del tipo de coraza, que se habían desarrollado en Europa. En 1979, ya había 91 frentes en funcionamiento. En el último recuento se han elevado a 105, y hay solicitados equipos para otros 21. En 1981 las minas con frente largo rindieron 18 millones de toneladas de carbón, es decir, un 6,2 por ciento de la producción subterránea. De acuerdo con ciertas previsiones, habrá unos 200 frentes largos en Estados Unidos para 1985, que reportarán, por lo menos, el 12 por ciento del tonelaje subterráneo.

En la minería del frente largo se consigue una alta productividad. La mina Sunnyside, de la Kaiser Steel Corporation en Sunnyside, Utah, extrae regularmente 2900 toneladas diarias de carbón, con frente de 168 metros de largo y un equipo de 11 hombres, muy por encima de la media estadounidense. La vena de carbón, de 2,8 metros de espesor, está a 450 metros de profundidad. A principios de este año una serie de equipos que trabajan en un frente produjeron 20.384 toneladas en un período de 24 horas, lo que representa un record mundial.

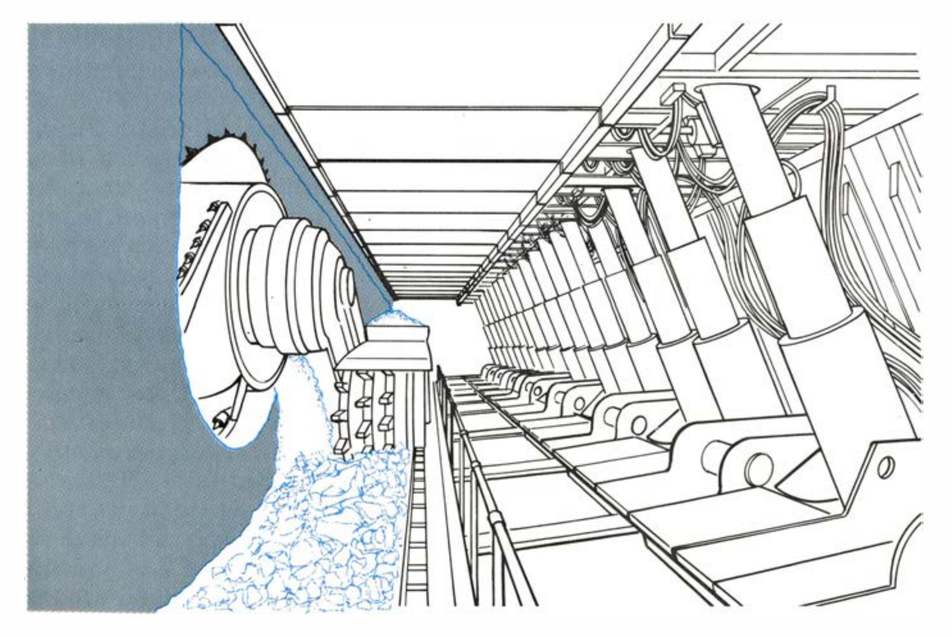
¿Por qué, entonces, la técnica del frente largo, aparentemente más productiva, no se ha extendido con mayor rapidez por Estados Unidos? Hallamos



una explicación de ello en la ubicación de las minas de ese país, generalmente más superficiales que las de Gran Bretaña, Alemania Occidental y otras naciones donde opera el sistema. La minería celular resulta, por tanto, todavía económica en la mayoría de las venas norteamericanas. No se olvide, además, que ni ingenieros ni obreros han tenido hasta ahora suficiente experiencia con el frente largo. Como en muchos otros campos, los empresarios saben que ser los primeros cuesta dinero. La inversión de capital para abrir un nuevo frente largo es fuerte: de 30.000 dólares a 42.000 por metro de largo del frente, de forma que uno que midiera 150 metros costaría de 4,5 a 6,3 millones de dólares. Siguen siendo necesarias las máquinas de minado continuo para el desarrollo del trabajo. Las exigencias normales del mercado del carbón influyen también en el método de extracción. En Estados Unidos, se acostumbra a vender la producción de una mina mediante un contrato en el que se asegure un suministro regular al comprador. Una mina con un solo frente largo corre el peligro de romper la regularidad, en cuanto se le presente un fallo mecánico que interrumpa el trabajo. Para asegurar una producción constante es necesario abrir varios frentes, lo que hace subir aún más el costo de la inversión.

Resulta pertinente e ilustrativo detenernos en la experiencia cosechada en el Reino Unido en estos frentes largos. Nos enseñan que las ganancias por mecanización pueden verse anuladas por condiciones geológicas y otros factores difíciles de controlar. Entre 1971 y 1980 el número de frentes largos se redujo, en ese país, en más del 20 por ciento pasando de 840 a 649, a raíz del cierre de minas de producción marginal. Un análisis reciente de Brian Lord, presidente de la Lord International Mining Associates, revela que, a pesar de concentrarse la producción en las mejores minas, no se progresó en la productividad de las minas con frente largo entre 1971 y 1979. Hubo un aumento de productividad del 16 por ciento en el frente propiamente dicho, pero quedó nivelada por una menor productividad "en otros puntos bajo tierra". La productividad total permaneció constante en 2,24 toneladas por hombre y turno.

Cuando Lord clasificó las minas de frente largo de acuerdo con su grado de mecanización, halló que las más mecanizadas rendían ligeramente menos que las menos mecanizadas, a lo largo del quinquenio transcurrido de 1975 a 1979. La medida del rendimiento se tomó por los centímetros que avanzó el frente cada turno de un obrero. Las menos mecanizadas ganaron a las más por 87 centímetros contra 86. La mejor puntuación la dieron las de mecanización intermedia, con 91 centímetros por hombre y turno.



**ROZADORA LONGITUDINAL: máquina de arranque continuo muy común en las minas inglesas y europeas durante muchos años. Arranca el carbón de una cara de bloques de 150 metros de ancho y hasta 1,6 kilómetros de longitud. La máquina que se muestra en la figura es una rozadora de doble tambor. La máquina de corte da continuas pasadas por el frente de la capa. La explotación no sigue el modelo de cámara y pilares (salvo en la zona de entrada y alrededores del tajo). La bóveda adyacente al frente de trabajo está soportada por una mamposta hidráulica, que se va moviendo a medida que avanzan las labores. El techo de detrás de las mampostas va cayendo conforme progresa el techo autoportante.**

Tan sorprendentes resultados le hicieron preguntarse a Lord si la industria carbonera británica tenía que seguir con su objetivo de frentes totalmente mecanizados. Entiende que la industria ya está sobremecanizada y que lo que resultaría beneficioso sería una simplificación. De 1948 a 1980 la minería británica nacionalizada hizo un esfuerzo gigantesco para modernizar sus pozos. La innovación tecnológica fue impresionante. El número de mineros se redujo en dos tercios, desde 711.000 en 1947 hasta 237.000 en 1980, mientras que la producción sólo bajó en un 30 por ciento, desde los 187 millones de toneladas largas en 1947 hasta las 130 millones de toneladas largas de 1980. Por tanto, la productividad por hombre y año pasó a ser algo más del doble. Pero los beneficios económicos son dudosos: en 1980, los beneficios del capital invertido fueron exactamente cero.

Gunter B. Fettweiss, director del Instituto de Tecnología Minera de la Universidad de Minería y Metalurgia de Leoben, Austria, ha llegado a la misma conclusión con respecto a la mecanización de las minas de Alemania Occidental. La mecanización, explica, produce unos ahorros sustanciales al principio, cuando las condiciones geológicas son favorables. A medida que cuesta más extraer el carbón, los costos de una mina mecanizada se elevan rápidamente y pronto exceden los de las minas menos mecanizadas que ofrezcan una dificultad geológica similar. La razón, escribe Fettweiss, "débese a que las máquinas han demostrado hasta ahora ser menos capaces de adaptarse a condiciones difíciles o cambiantes que el obrero de pico y pala. Bajo condiciones muy favorables [hombre y máquinas] fracasan al unísono".

Los mineros norteamericanos comienzan a albergar las mismas reservas sobre las ventajas de una mecanización a ultranza, comentan Paul C. Merritt y David Brezovec, de *Coal Age*. Algunos defienden que la minería ha adquirido un grado muy elevado de complejidad y que las funciones asignadas a las máquinas aumentan la probabilidad de suspensión del trabajo. Hay máquinas, construidas para hacer en teoría más fácil la labor, que, con frecuencia, se muestran inseguras en las condiciones reales de la mina.

El que resulte tan difícil aumentar la productividad por encima de niveles ya altos induce a pensar a algunos observadores en una revisión de los papeles desempeñados por la industria privada y el estado. En algunas industrias nor-

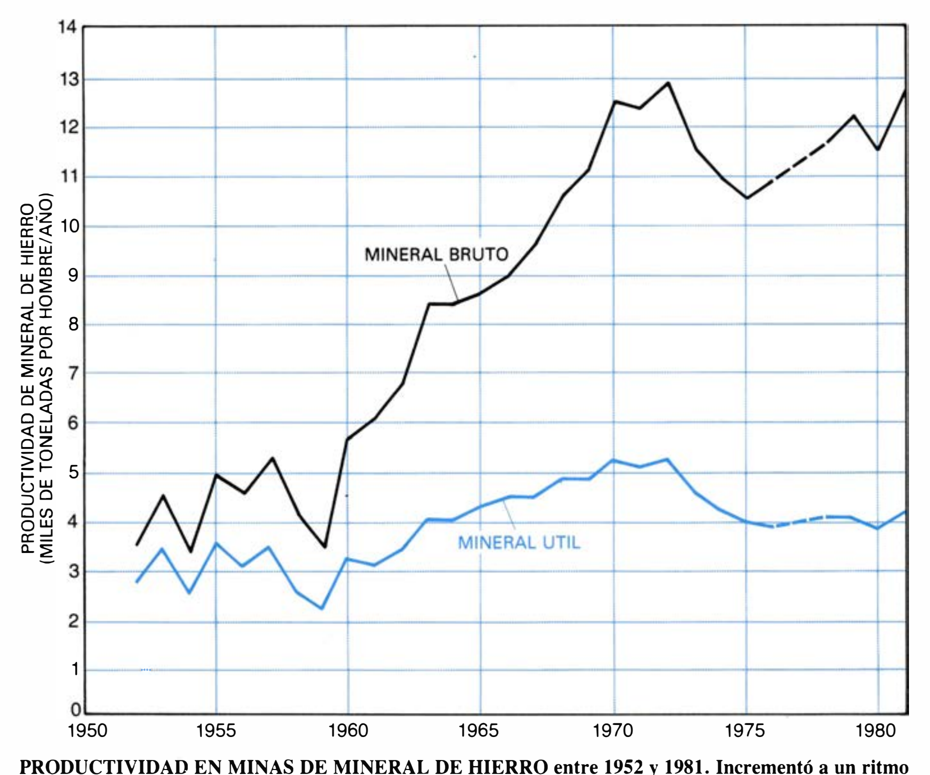
teamericanas, el gobierno federal interviene de una forma directa en las etapas de investigación y desarrollo. Así, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) contribuye al diseño de los aviones y el Departamento de Agricultura toma parte en los trabajos de mejora vegetal y animal. En minería, sin embargo, el gobierno (a través de la Oficina de Minas) ha concentrado un esfuerzo mayor en las condiciones de salud y seguridad de los mineros que en el aumento de la productividad. La investigación sobre la productividad (adjudicada al Departamento de Energía en 1977) se ha visto dificultada hasta cierto punto por las múltiples situaciones en que se hallan las minas. Quizá valdría la pena pensar que la industria privada se dedicara a simplificar y aumentar la seguridad y solidez de los equipos existentes, en tanto que el gobierno atendiera áreas tecnológicas planificadoras o proyectivas, sin olvidar los esfuerzos encaminados a verificar que una mayor mecanización se compensará con mayor productividad y seguridad.

Ejemplo de una idea prometedora que se adelantó a su tiempo fue el "minero automático". En muchas zonas, en Appalachia de un modo particular, las minas de superficie alcanzan sólo parte de una vena de carbón; el trabajo debe suspenderse cuando la proporción de material por encima del carbón excede un valor aceptable. Se puede conseguir extraer más carbón haciendo grandes taladros o perforaciones en las laderas de la colina. En los años 50 y 60, las minas perforadas rindieron de 10 a 20 millones de toneladas de carbón por año, es decir, del dos al tres por ciento del total de la producción. La productividad de estas minas se cifró en 45 toneladas por hombre y día, unas 10 toneladas más que la mayor productividad de minas a cielo abierto.

En los primeros años del decenio de 1960, cierta compañía se arriesgó a desarrollar una perforadora para carbón automáticamente controlada: el minero automático. En las pruebas sobre el terreno, se cosechó un rendimiento impresionante: extraía carbón a una media de casi 500.000 toneladas anuales. Pero ocurrió que, en las condiciones reales de trabajo, el minero automático resultó poco fiable y no pudo superar el rendimiento de las perforadoras convencionales. Sólo llegaron a construirse dos máquinas de éstas y se abandonó el proyecto.

En 1981, se introdujo en los Estados Unidos una máquina de características similares a las del minero automático. Procedía de la Rhine-Schelde-Verolme Machine Fabriken en Scheepswerken N.V., unos astilleros de Holanda. El ingenio, conocido por minero de venas delgadas, está proyectado para minar venas de carbón de 610 a 1600 milímetros de altura en laderas de colinas. La cabeza cortadora busca la vena carbonífera con la ayuda de sensores que descubren los distintos niveles de radiactividad natural del carbón y de las capas adyacentes de ganga. Con la inserción de unas extensiones de seis metros, que permiten minar hasta una profundidad de 67 metros, se refuerza el alcance de la cabeza cortadora.

Asegura la casa fabricante que esta máquina recupera hasta el 85 por ciento del carbón a su alcance. Con un equipo de 4 hombres, se afirma, la máquina es capaz de extraer 420 toneladas en un turno de 8 horas, 105 toneladas por hombre y turno. Acaban de entrar en funcionamiento varias máquinas de este tipo en Estados Unidos. Valoradas en 2,5 millones cada una, no suelen venderse sino alquilarse. A cambio de las regalías ("royalties") percibidas sobre el carbón extraído, el distribuidor aporta un servicio completo, en el que entra la instalación, el equipo de obreros y el mantenimiento.

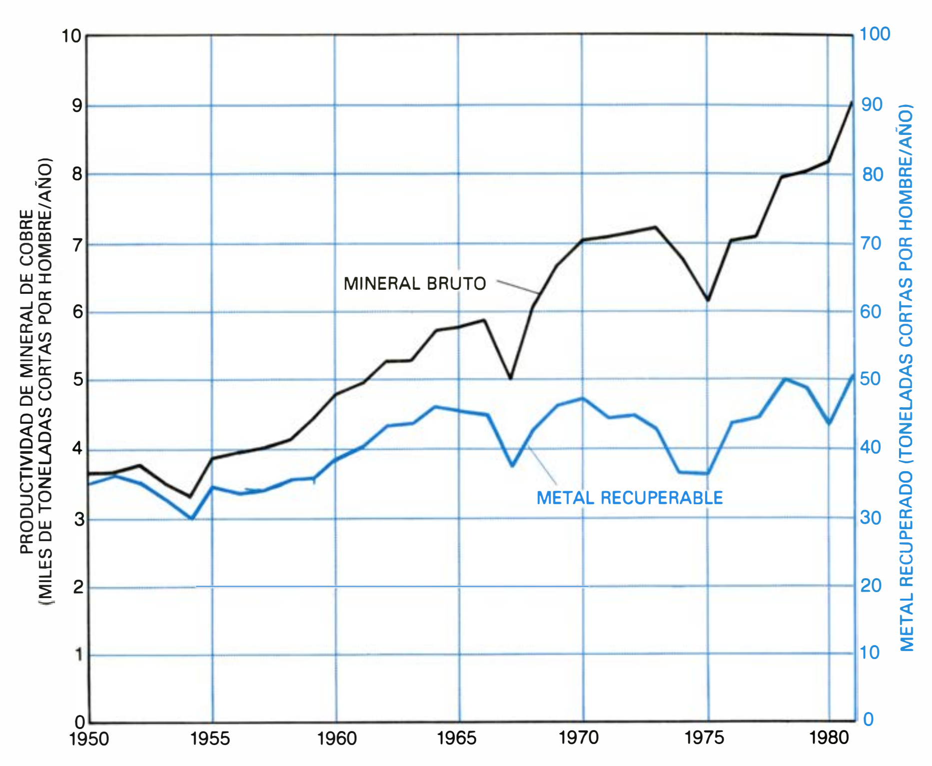



**PRODUCTIVIDAD EN MINAS DE MINERAL DE HIERRO entre 1952 y 1981. Incrementó a un ritmo medio de 4,5 por ciento y año calculado sobre el arranque de mineral bruto (*curva negra*), pero a un ritmo mucho más bajo, de 1,5 por ciento, sobre la base de mineral útil. La mayor parte de mineral de hierro doméstico procede de minas a cielo abierto. Compárese el arranque de 4180 toneladas largas por hombre y año de mineral útil, en 1981, con la productividad de 6700 toneladas largas por hombre y año en minas a cielo abierto de carbón, donde la productividad se ha incrementado a un ritmo del dos por ciento anual.**

En la minería a cielo abierto tradicional, la secuencia básica de los trabajos no ha cambiado desde sus orígenes: retirar el material que está tapando la vena de carbón y recoger luego el carbón ya al aire. Con el aumento de tamaño y potencia de los equipos se ha conseguido explotar económicamente a cielo abierto venas de hasta 61 metros de profundidad con dragalinas y excavadoras cuyas cucharas cargan hasta 138 metros cúbicos de tierra y roca. Para aflojar o remover el terreno, se perforan ahora barrenos de hasta 254 milímetros de diámetro y a 23 metros, pudiendo llenarlos con explosivos que se echan a granel desde grandes camiones. Para fracturar la vena de carbón se sigue el mismo sistema. El carbón se recoge con palas de hasta 17 metros cúbicos de capacidad y se cargan en camiones que transportan hasta 170 toneladas. La tendencia hacia unas mayores proporciones del equipo para minas de superficie se ha frenado. Las mejoras incorporadas en la maquinaria atienden ahora al rendimiento, fiabilidad y facilidad de reparación. Se fabrican grandes subconjuntos en modelos separados para agilizar el transporte, el asentamiento y las reparaciones posteriores.

Las herramientas de diagnosis, los equipos de seguimiento y control y las ayudas al trabajador se han hecho cada vez más importantes a medida que ha aumentado el precio del fuel y el costo de la maquinaria fuera de servicio por reparación o mantenimiento. Los computadores digitales han entrado en la industria minera como en todas las demás. Así, se ha programado un simulador de dragalina para que el operario aprenda a "sentir" las reacciones de la máquina antes de subir a ella. Cuando esté en plena faena, verá potenciada su habilidad mediante un sistema de retroinformación. Un computador en el panel de la máquina ofrece una señal visual del funcionamiento y guarda un archivo del trabajo y condiciones del ingenio, ayudando de esta manera a conseguir las máximas prestaciones con el mínimo mantenimiento.

La mayoría de equipos usados en minería de superficie podrían servir para excavaciones y movimiento de tierras en general; hay, sin embargo, una máquina que está altamente especializada. Me refiero a la excavadora con rueda de cangilones, que constituye una gran promesa para la extracción económica de carbones del Oeste y lignitos de Texas, algo más bajos en energía que los que se recuperan normalmente. Estas gigantescas máquinas, construidas en Alemania Occidental por O & K Orenstein & Koppel Aktiengesellschaft, tienen unas ruedas que miden de 7,8 a 15 metros de diámetro. Pueden remover rápidamente un gran volumen de tierra superior y depositarla a miles de metros de distancia mediante cintas transportadoras, sin necesidad de recurrir a los camiones o cualquier otra manipulación posterior del material.




**PRODUCTIVIDAD DE LA MINERIA DE COBRE entre 1950 y 1981. Aumentó a un ritmo del tres por ciento anual en arranque bruto (*curva negra*) y a un ritmo del 1,2 por ciento anual para el metal recuperable (*color*). El 85 por ciento del tonelaje de mineral de cobre se extrae de minas de pozo abierto. En 1950 cada tonelada de mineral de cobre en mina contenía una media de 19 libras (8,7 kilogramos) de cobre. En 1981 el contenido medio de metal ha descendido hasta 11 libras (5 kilogramos) por tonelada de mineral.**

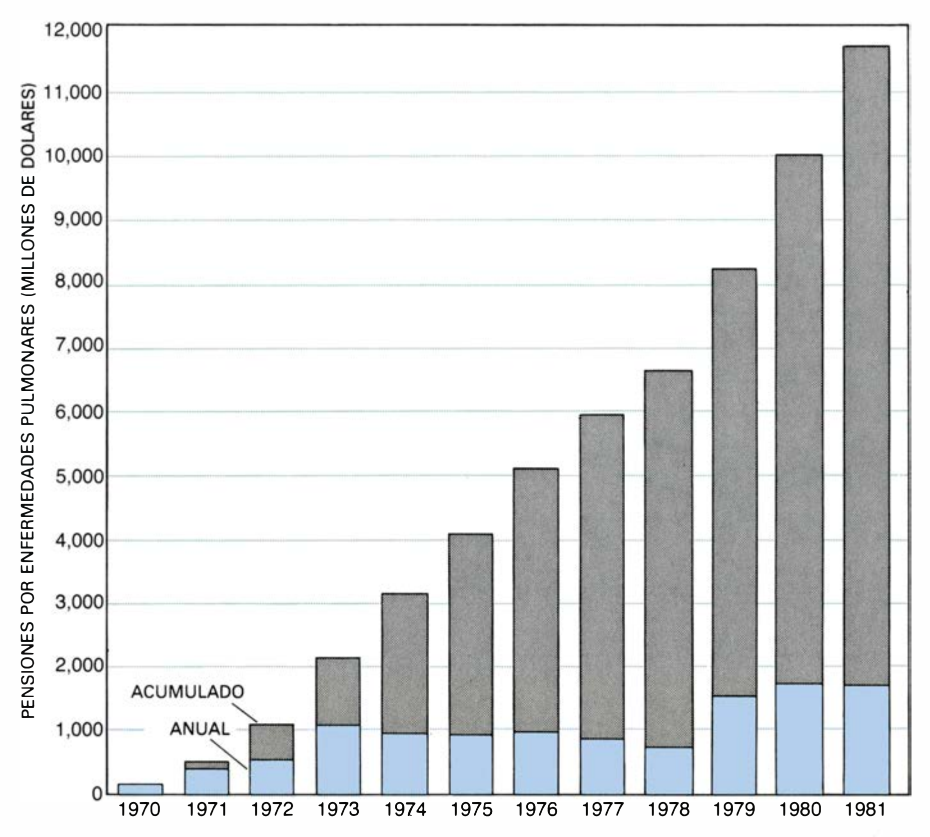
La excavadora de cangilones permite recuperar venas a más de 90 metros de profundidad, lo que trasciende con mucho cuanto hasta ahora se consideró posible para cielo abierto. En un turno de 8 horas, la máquina puede quitar hasta 2400 metros cúbicos de tierra, el equivalente a evacuar un campo de fútbol hasta una profundidad de 4,5 metros. Aunque el costo de la máquina se halla entre 15 y 40 millones, según el tamaño, resultará rentable para minas que produzcan dos millones de toneladas al año o más, sobre todo si el cliente es una central térmica cercana. Bajo estas condiciones se puede producir electricidad a precios competitivos a partir de carbones y lignitos de bajo poder energético.

Las empresas de minas a cielo abierto están obligadas, por ley, a dejar las zonas minadas con su contorno original, hábiles para el uso que tenían antes de su explotación. La potencia necesaria para nivelar los escombros sueltos es mucho menor que la necesaria para romper el terreno originario y compacto. Este trabajo lo realizan de forma eficaz grandes explanadoras. En unas pruebas recientes, se acoplaron en paralelo dos explanadoras, unidas a una sola pala de 12 metros, manejadas por un obrero. Vuelta la tierra a su sitio, se siembra. Mullidoras mecánicas cortan heno y lo reparten en las laderas o taludes para evitar la erosión. En muchos casos, se distribuye con avionetas la simiente, los abonos y el estiércol. No es raro que el terreno así devuelto sea más rico que antes de ser minado.

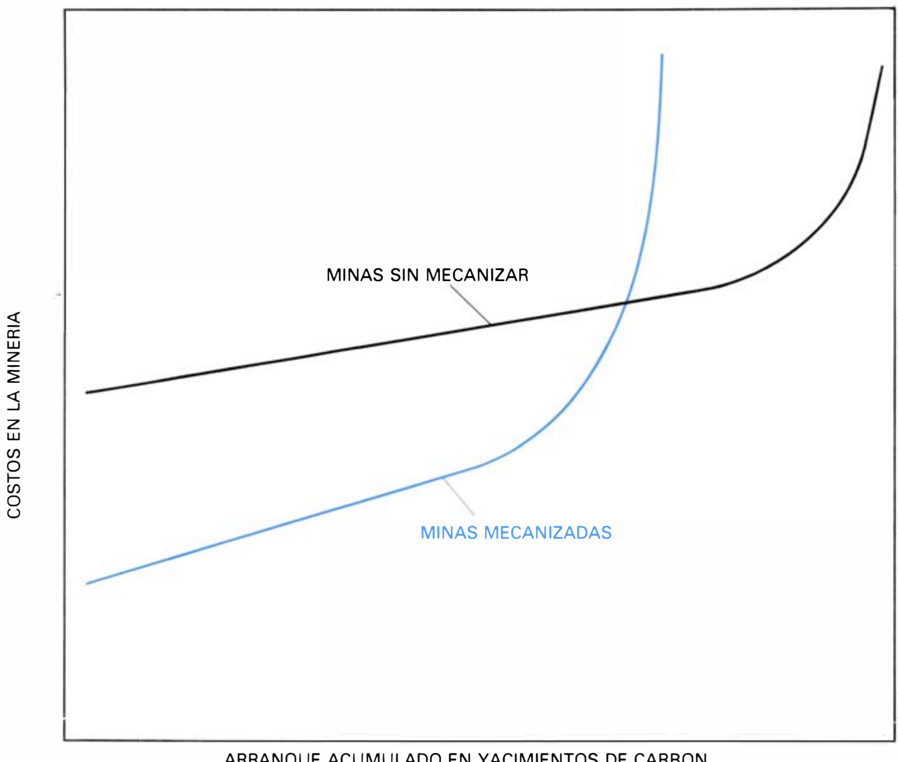
Los mineros de superficie deben tener su propia capacitación, distinta de la urgida en las minas subterráneas. Aunque la planificación de las funciones directamente relacionadas con el carbón corre a cargo de los ingenieros, los obreros al frente de dragalinas, palas, camiones y explanadoras que trabajan en las minas a cielo abierto carecen, por lo común, de experiencia minera, si bien proceden de otras obras públicas o privadas implicadas en movimientos de tierras.

A lo largo de los años, los beneficios de la mecanización de las minas, acusados en la productividad y los sueldos, se han visto obscurecidos por los nuevos riesgos introducidos por los cambios de tecnología. A partir de 1870, cuando se empezó a llevar un registro, el número de accidentes mortales en Estados Unidos descendió al principio para aumentar después. El índice de muertes de 1880, 2,2 hombres por cada 1000, se sobrepasó en 52 años de los 53 siguientes. Sólo a partir de 1948 quedó el índice por debajo del 2 por mil, con la excepción de 1968 en que alcanzó 2,2. Ello no obstante, la tendencia global desde 1907 (el año peor del siglo en que murieron 3100 mineros en accidente) ha sido a la baja. Desde 1970 el número de mineros del carbón muertos da una media de 140 por año, importante descenso en relación con la media de la década precedente.

El riesgo más serio introducido con la mecanización fue el polvo fino de carbón, que se convirtió en un verdadero problema cuando las máquinas sustituyeron al pico para el arte inferior del frente. El peligro aumenta cuando, al cortar el carbón, se libera gas metano atrapado en su interior. Si el metano se mezcla con el aire en proporción del 5 al 15 por ciento, la mezcla se torna alta-




**PENSIONES DE LOS MINEROS JUBILADOS que sufren enfermedades del pulmón. Se sufragan en parte por la imposición de 50 centavos de dólar por tonelada de carbón de cielo abierto y 1 dólar por tonelada en el caso de minas subterráneas. Este fondo aportó 600 millones de dólares a las pensiones de este colectivo de 90.000 mineros el año pasado. La Seguridad Social, por su lado, agregaría otro millón.**



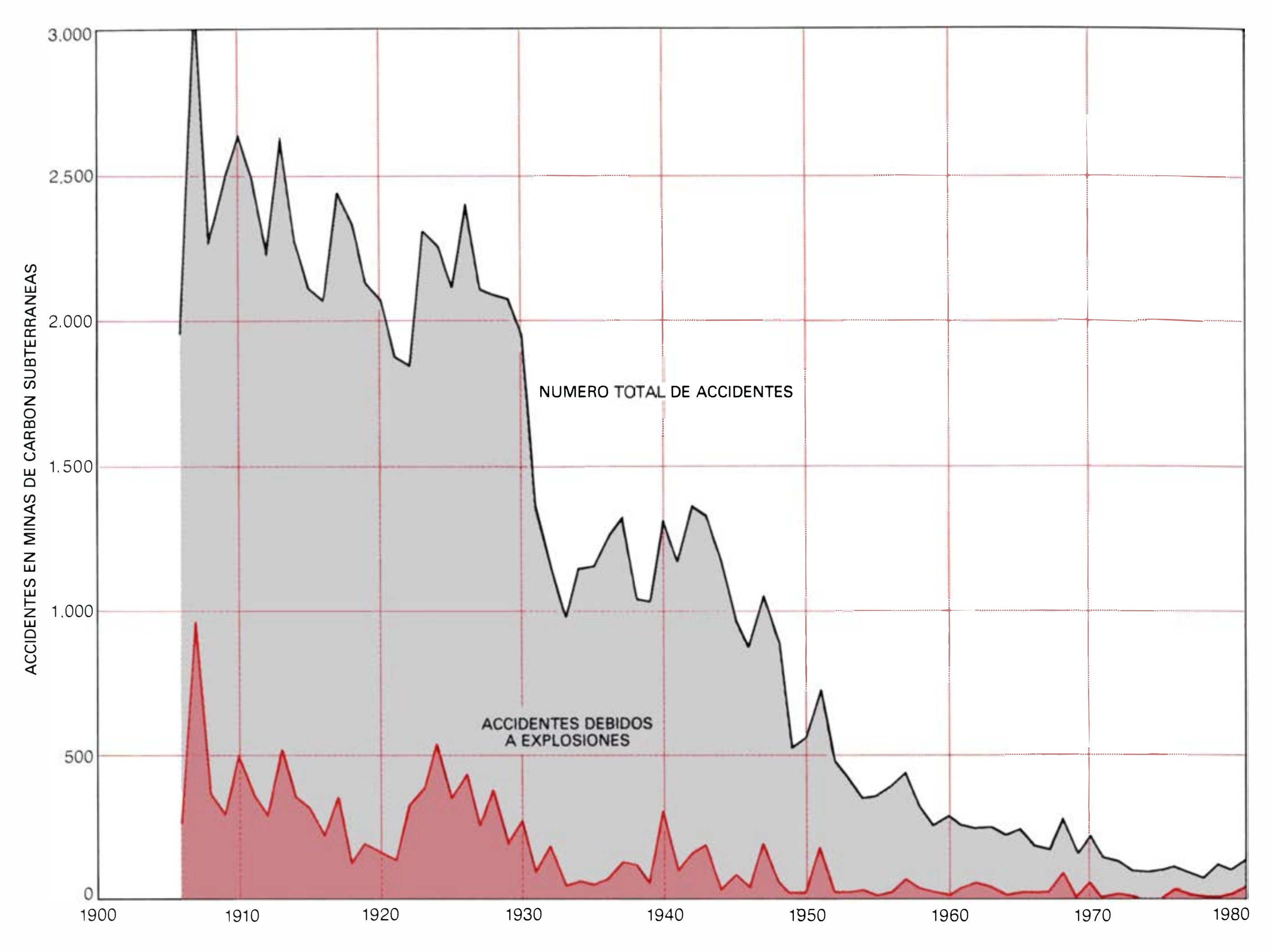

**MECANIZACION EN MINAS DE CARBON ALEMANAS. Un estudio paradigmático ha puesto de relieve que los beneficios de la mecanización disminuyen cuando las capas de carbón son menos accesibles y de peor calidad. A la larga, el coste por unidad de carbón extraída en una mina mecanizada es mayor que en otra no mecanizada en explotaciones de capas equiparables. El diagrama procede de un informe elaborado por Gunter B. Fettweiss, de la Universidad de Minas y Metalurgia de Leoben, Austria.**

mente explosiva. La explosión de una pequeña cantidad de metano puede cebar una explosión mucho mayor de polvo de carbón, o incluso una serie de explosiones que se pueden propagar a lo largo de la mina. Todo parece indicar que fue una serie de explosiones la que mató a 358 mineros en una mina de Virginia occidental en diciembre de 1907, constituyendo la catástrofe más grave registrada en un solo accidente.

Las primeras máquinas rozadoras aumentaron el grado de fractura del carbón y, con ello, el de liberación de metano. Esto instó la necesidad de mejorar la ventilación. Pero las cosas se complicarían con la introducción de las máquinas continuas, no sólo porque el carbón se cortaba más deprisa, sino también porque producía partículas más finas y más polvo. Las máquinas van equipadas ahora con sensores de metano que las paran antes de que la concentración adquiera niveles peligrosos. El corte se hace además bajo un chorro de agua que evita el polvo. Si bien no hay ninguna otra precaución más segura contra la acumulación de polvo que pintar las paredes con una capa de cal muerta a medida que avanza el frente.

La mayoría de los artículos que la legislación dedica a la seguridad minera vinieron urgidos por los accidentes. La historia de los organismos estatales está jalonada por medidas tomadas para prevenir fuegos y explosiones en las minas, así como para mejorar las operaciones de rescate. El Federal Coal Mine Health and Safety Act de 1969 y las enmiendas introducidas en 1977 otorgaron a la Oficina de Minas toda la responsabilidad en la seguridad e higiene de los obreros. La legislación se vio precipitada en parte por los esfuerzos del sindicato para conseguir compensaciones a favor de los trabajadores que habían contraído la enfermedad de los "pulmones negros" por inhalación prolongada de polvo de carbón. Otro factor fue una serie de accidentes que produjeron 311 defunciones en 1968, incluyendo una explosión en Farmington, que mató a 78 mineros.

El polvo que se respira en las minas subterráneas continúa siendo un grave problema sanitario. Otro lo es el ruido. Está demostrado que una exposición prolongada a altos niveles de ruido provoca una hipoacusia permanente. El costo total de esto para el minero, su familia y la sociedad no es fácilmente mensurable, aunque sí de innegable importancia. Por supuesto, existen otras industrias donde los persistentes




**BAJAS POR ACCIDENTE en minas de carbón subterráneas. El número de muertes ha descendido bruscamente en los últimos 50 años al ganarse en seguridad. La mayoría de los accidentes en las galerías débense al desplome de techos y hundimientos de terrenos, que solían cobrarse unas 1000 o 1200 vidas por año hasta 1931. Las explosiones son temidas por su potencial para matar a muchos hombres en un solo episodio. Las explosiones ocurren cuando el metano liberado del carbón fracturado alcanza concentraciones peligrosas. Una explosión de metano puede inducir una explosión de polvo de carbón.**

altos niveles de ruido dañan el oído de los obreros. Desde 1970, la industria del carbón ha progresado bastante en lo concerniente a la reducción del ruido de las máquinas, tanto de superficie como de interior. En Australia, sin embargo, el número de reclamaciones por sordera laboral ha subido vertiginosamente, llegando a 600 en 1979 y 1980.

Estados Unidos comenzó a pagar beneficios a los mineros retirados por enfermedad de pulmones negros en 1970. A lo largo del primer quinquenio, los subsidios acumulados se elevaron a 3100 millones de dólares. En el quinquenio siguiente se pagaron otros 5100 millones. Hasta ahora, el programa ha costado 11.700 millones de dólares.

El Health and Safety Act de 1969 especifica que el polvo respirable en las minas de carbón no debe superar los dos miligramos por metro cúbico de aire. Las minas celulares, incluidas las que 'rabajan con máquinas continuas, han mantenido esa cláusula. Pero las minas de frente largo no pueden cumplirla de un modo permanente en la mitad de las operaciones. El gobierno y las empresas han aunado esfuerzos para resolver el problema. En 1970, alrededor del 15 por ciento de los mineros del carbón de interior tenían, en algún grado, la enfermedad de los pulmones negros. La incidencia se cifra hoy en torno al seis por ciento.

A imagen de lo que ha venido ocurriendo, los cambios que se prevén en la tecnología minera, en lo que queda de siglo, tendrán un carácter evolutivo, más que revolucionario. Se necesita un período de 10 o 20 años al menos para que una nueva tecnología reemplace a otra más vieja. Las razones son las mismas que las que se podrían citar para cualquier otra industria: el alto costo de capital que importan los nuevos equipos, la tendencia de los usuarios a seguir con los métodos ya experimentados y la falta de seguridad en el funcionamiento de nuevos sistemas. La innovación en la minería subterránea del carbón se encuentra con un obstáculo específico: el cambio en un sistema parcial, el transporte por ejemplo, puede necesitar de un cambio en el sistema total de trabajo. Se espera que la minería de frente largo, que requiere los cambios más radicales de todos, crezca; lo que dependerá en parte del éxito que consiga en adaptarse a venas delgadas en el este y a gruesas en el oeste.

El futuro de la minería de cielo abierto se hallará sujeto a la concepción que se tenga de la economía de escala. El empresario es consciente de que se ha invertido demasiado en equipos. Es de esperar, pues que se mitigue la tendencia a comprar maquinaria de superficie cada vez más imponente. A medida que las minas a cielo abierto avancen hacia mayores profundidades, sus costos se acercarán a los de la minería subterránea. A partir de entonces, la baja continuada de la minería subterránea, que se lleva produciendo en los últimos cincuenta años, comenzará a cambiar de signo.

# Ciencia y sociedad

*Repercusiones sociales de la mecanización*

Hoy en día es la robotización el fantasma que recorre el mundo causando el terror de sindicatos y gobiernos; hace dos siglos eran las hiladoras y los telares mecánicos; hace cerca de cuatro siglos eran ciertas máquinas textiles capaces de tejer medias y cintas. Como puede verse, si bien no es cierto que no haya nada nuevo bajo el sol, sí lo es que los historiadores siempre pueden encontrar un antecedente a toda novedad. En todo caso, el miedo a la mecanización y la presión sobre los gobiernos por parte de las organizaciones obreras para que la impidan o la limiten no es un fenómeno exclusivamente de nuestros días.

La mecanización en gran escala es un fenómeno de los dos últimos siglos, un fenómeno que se inicia con la llamada Revolución Industrial, que tiene lugar a finales del siglo XVIII en Inglaterra y que se disemina por el resto de Europa y partes del resto del mundo durante los siglos XIX y XX. Por supuesto, la humanidad utilizaba artificios mecánicos, algunos de ellos en gran escala, antes del siglo XVIII. Piénsese, si no, en los relojes de muelle, en los molinos de agua y de viento, en carros, carretas y diligencias, en las norias, en los puentes levadizos, etcétera. Pero las innovaciones que revolucionaron la vida y la estructura social tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo XVIII, y fueron las hiladoras y telares mecánicos y la máquina de vapor.

Puestos en conjunción, hiladoras y telares mecánicos y máquina de vapor dieron lugar a la generalización del sistema fabril, abarataron espectacularmente los tejidos de algodón, contribuyeron al nacimiento del proletariado urbano industrial, permitieron el enriquecimiento vertiginoso de un reducido grupo de empresarios y dieron lugar a un reajuste profundo en la distribución de la mano de obra. Este reajuste entrañó en ciertos sectores la aparición de un desempleo que alcanzó proporciones trágicas y masivas, como en el bien conocido caso de los tejedores manuales, especialmente en las décadas de 1820 y 1830. A la larga, sin embargo, el paro debido a la mecanización de la industria textil fue desapareciendo, y los efectos favorables fueron predominando (si es que no habían predominado siempre). Las industrias textiles, las más afectadas por la mecanización, fueron durante todo el siglo XIX las que mayor número de trabajadores emplearon en Inglaterra.

La razón de todos estos fenómenos es relativamente simple. El principal efecto de la mecanización (y el perseguido por aquellos que la implantan) es el aumento de la productividad. Este aumento puede producir, a corto plazo, un desplazamiento de los trabajadores que las máquinas vienen a sustituir. Pero también produce, a plazo corto o largo, un aumento de la producción gracias a la baja del precio que la mayor productividad hace posible y en general una expansión del empleo debido al crecimiento de la industria. Así ocurrió con la industria textil inglesa y así continuó ocurriendo con las industrias textiles en los otros países que adoptaron la mecanización. Los países y empresas que no se mecanizaron, por el contrario, si bien de manera inmediata no redujeron el volumen de empleo, a la larga sí lo hicieron por falta de competitividad y cierre de fábricas o talleres.

Hay otro efecto sobre el empleo que no se debe perder de vista al tratar de la mecanización: este proceso exige la fabricación de máquinas y, por tanto, la creación de una industria mecánica que sin mecanización no existiría, y que también implica una mayor demanda de mano de obra. La mecanización de la industria textil inglesa trajo consigo una mayor demanda de maquinaria de varias clases (máquinas de vapor, hiladoras, telares), de obras de construcción (para la planta de las fábricas y para la vivienda de los obreros), de materias primas (en especial algodón y productos químicos) y de personal de servicios, lo cual repercutió favorablemente sobre el empleo. Por añadidura, el abaratamiento del vestido hizo que a los consumidores, además de serles más asequible la ropa, les sobrara dinero para adquirir otros productos, con lo cual resulta que la mecanización de una industria estimula el crecimiento de otras.

Junto con esta redistribución ocupacional de la mano de obra, la mecanización también entraña una redistribución locacional y, muy característicamente, la urbanización. La relación entre industria y ciudad no es tan clara como parece a primera vista. En realidad, mientras no se generalizó la industria mecanizada en gran escala los talleres campesinos competían con éxito con los urbanos: con la tecnología preindustrial los campesinos y campesinas podían hilar y tejer en las largas noches de invierno con parecida productividad y menor precio que los artesanos especializados de las ciudades. Con la mecanización, en cambio, resulta más económico instalar las fábricas cerca de las grandes ciudades (o, en ciertos casos, las grandes ciudades cerca de las fábricas) porque en éstas residen tanto los trabajadores como los consumidores o clientes. Es lógico por tanto que industrialización y urbanización sean fenómenos paralelos: la ciudad atrae a la industria y ésta hace crecer a la ciudad.

Pero no sólo la hace crecer, sino que también la ensucia. La contaminación del medio ambiente, de la que tanto nos lamentamos hoy, también tiene antecedentes, sobre todo en Inglaterra, donde el humo de las fábricas y la acumulación de los residuos de la industria química eran ya motivo de preocupación y de protesta en el siglo pasado. En realidad, en muchas antiguas ciudades industriales, como Glasgow o Pittsburgh, la contaminación atmosférica es hoy mucho menor que hace cincuenta años.

Existe la impresión generalizada que la mecanización de la industria, al originar la aparición del proletariado industrial por un lado, y del empresario industrial por otro, ha contribuido a polarizar la sociedad en dos clases antagónicas, una de las cuales, poco numerosa, se enriquecía desmesuradamente, mientras que la otra, abrumadoramente mayoritaria, se debatía en la pobreza. Sobre esta cuestión tiene Marx páginas elocuentísimas y bien conocidas. Si bien su análisis y sus descripciones se ajustan bastante bien a la Inglaterra de mediados del XIX, hoy resulta evidente que los peores horrores y polarizaciones de la Revolución Industrial han quedado definitivamente atrás en los países industrializados. Y es además notorio que, por injustas que permanezcan las disparidades de renta y riqueza en estos países, a la larga la industrialización ha entrañado una reducción de las disparidades, no un aumento. Actualmente la renta y la riqueza están peor distribuidas en los países atrasados que en los adelantados.

Todas estas consideraciones moderadamente optimistas acerca de los resultados de la mecanización las podemos hacer hoy merced a una perspectiva

histórica que nos permite analizar los datos del pasado desapasionadamente. Los que padecían las consecuencias de la mecanización en su carne, sin embargo, no se permitían tal imparcialidad. Una corriente del movimiento obrero inglés, los llamados "luditas", centraban el fin y los medios de su organización en la destrucción física de las máquinas, en las que veían a su gran enemigo. Y el "ludismo" tuvo seguidores en otros países. En España, concretamente, son bien conocidos los casos de puesta en práctica de esta doctrina sencilla pero contundente en la Barcelona de mediados del XIX, y también en Alcoy decenios más tarde: se trataba de una especialidad de los obreros textiles. En general, muchos de los rasgos que revistió la industrialización de Cataluña (Barcelona sobre todo) en torno a la industria textil en el siglo pasado se habían dado ya en Inglaterra medio siglo antes.

Pese a todos estos problemas, la mecanización se generaliza progresivamente. Del textil se extendió a otras ramas de la industria, después al transporte y, a finales del siglo XIX, a la agricultura. El proceso evidentemente no ha terminado, al contrario; se extiende y profundiza. Se extiende a nuevos sectores y a nuevas áreas geográficas; y se profundiza al introducirse nuevos sistemas de mecanización que superan a los viejos: la energía eléctrica y el motor de gasolina sustituyen al vapor, y a su vez están siendo desplazados (con ciertos interrogantes) por la energía de fisión, la solar y la de fusión; las fibras textiles naturales se han visto sustituidas en parte por las artificiales, y las antiguas máquinas de hilar y tejer por factorías integralmente automatizadas. Los ejemplos pueden multiplicarse.

Es natural que la mecanización prosiga, ya que sus beneficios a largo plazo son evidentes: ha permitido que un número creciente de hombres viva un número creciente de años a niveles de vida crecientes. La historia económica lo muestra de modo insoslayable. Pero no todo son parabienes. Si el conocimiento del pasado sirve para algo, en este caso es para indicarnos que la transformación social y los beneficios nacidos de la mecanización se reparten desigualmente, y esta desigualdad, que a menudo resulta ser una tragedia para determinados grupos, puede ser remediada por medio de la solidaridad social y, sobre todo, por la acción del Estado y de otras agencias colectivas. En otras palabras, el estudio del pasado nos enseña que se pueden aumentar los beneficios indudables de la mecanización repartiéndolos de manera más equitativa.

(Gabriel Tortella, catedrático de historia económica de la Universidad de Madrid.)

## *Pobres de solemnidad*

"Socorrer decentemente a los pobres es la auténtica prueba de civilización", dijo Samuel Johnson, que cumplía con lo que le correspondía dando de lo suyo y acogiendo a los desamparados. Mucho antes, la ley y las instituciones sociales británicas habían prestado ya una mejor atención a los necesitados. Casi todas las medidas para mitigar la pobreza que constituyen hoy el núcleo de cualquier política social se habían establecido a principios del siglo XVII, varias generaciones antes de la época de Johnson. Comprendían programas de trabajo y escuelas subvencionadas por el gobierno, transferencia directa de riqueza mediante impuestos y subsidios, asistencia sanitaria y reparto de alimentos y combustible a precios protegidos.

El alcance y la organización del tramado asistencial en la Inglaterra del siglo XVII han sido objeto de revisión, a lo largo de los últimos 10 años, en una serie de publicaciones de Ronald W. Herlan, de la Universidad estatal de Nueva York en Brockport. Especial atención ha dedicado a Londres, pero en sus últimas colaboraciones en la revista *Proceedings of the American Philosophical Society* aborda la situación de las clases necesitadas en Bristol, en el intervalo que va de 1600 a 1660. Bristol empezaba el siglo XVII como una próspera ciudad porteña, sólo superada por Londres en movimiento comercial. Pero las décadas que siguieron se hicieron difíciles. Decayó el comercio y la guerra civil de 1640 afectó gravemente a la economía, lo que condujo a una importante elevación de los impuestos. Bristol sufrió dos asedios, y atravesó períodos de hambre y epidemias. Alrededor del 20 por ciento de la población vivía en condiciones míseras hacia 1660.

Los ingresos para programas gubernamentales de asistencia a los pobres procedían esencialmente de "impuestos para los necesitados", que se habían "establecido para adquirir materiales para poner a trabajar a los capacitados sin empleo, enseñar a los niños pobres un empleo productivo costeando el aprendizaje y atender a los necesitados con una aportación semanal". Se organizó un sistema de ayuda que recondujera fondos tributarios de las parroquias más ricas a las más pobres. En épocas de graves trastornos económicos se exigían cantidades superiores de los contribuyentes y el Consejo de los Comunes de la ciudad tomaba medidas de emergencia, como la adquisición de cereales, mantequilla, carbón y otros productos para su distribución a precios inferiores a los del mercado. En los peores años se imponían gravámenes especiales a los propios miembros del Consejo; la ciudad se endeudaba con los habitantes más ricos.

La asistencia pública se complementaba con la caridad privada, que las más de las veces consistía en legados o donaciones. "Por medio de impuestos obligatorios, el estado aseguraba a sus miembros más desafortunados la existencia de un mínimo de subsistencia que los mantuviera. Al mismo tiempo, se fomentaban las contribuciones voluntarias para sostener el sistema legal." Las cantidades aportadas por los dos medios venían a coincidir.

La administración de los fondos públicos y privados correspondía generalmente a los deanes de las parroquias. Herlan examina minuciosamente los registros de Temple, una parroquia al sur del río Avon, que tenían una considerable población indigente. Además de las otras fuentes de ingreso, la parroquia de Temple contaba con una participación en los beneficios de un mercado comercial anual. Las cuentas del año eclesiástico de 1654-55 muestran que "las rentas de las tierras parroquiales, las aportaciones de pan y de otras fuentes sumaron 131 libras, 9 chelines y 80 centavos. La feria de San Pablo produjo un beneficio de 50 libras 11 chelines y 90 centavos, mientras que los impuestos para pobres (25 libras, 10 chelines y 20 centavos) y las prestaciones derivadas de cuatro parroquias de Bristol (32 libras y 6 chelines) supusieron otras 57 libras, 16 chelines y 20 centavos. Los desembolsos totales en ayuda de los necesitados superaron ligeramente las 113 libras, esto es, aproximadamente el 59 por ciento de las 190 libras, 10 chelines y 50 centavos desembolsados en ese año contable". Una década después, la fracción de los fondos parroquiales destinados a aliviar la pobreza se aproximó a los dos tercios.

Herlan destaca que no era, en absoluto, la compasión el único sentimiento que motivaba la ayuda a los necesitados. Los impuestos de pobreza se instituyeron como parte de un "esquema nacional adoptado para impedir la mendicidad en las calles, controlar la miseria social y regular los mercados de trabajo subterráneos". Las medidas adoptadas en Bristol a lo largo del siglo XVII, señala Herlan, demuestran "el continuo empeño de los dirigentes de la comunidad en amortiguar posibles revueltas sociales procedentes de las ca-

pas inferiores". Es más, tanto si la asistencia respondía a la generosidad como si se practicaba por interés propio, los recursos dispuestos sólo bastaban para mantener a los pobres, no para erradicar la pobreza.

### *Secuenciación secuencial*

La determinación de la secuencia exacta de los pares de bases de los nucleótidos de un gen, y la consiguiente lectura del mensaje cifrado en el código genético, ha cobrado últimamente gran importancia en biología molecular. Un buen número de procedimientos de reciente aplicación en microbiología industrial requieren el conocimiento de la secuencia nucleotídica de un gen, para sintetizarlo e insertarlo en una bacteria que lo replique y traduzca a proteína. A menudo resulta más sencillo descifrar el gen que codifica una determinada proteína que analizar el polipéptido en cuestión. Lo que no empece que determinar la sucesión de nucleótidos de un fragmento de ADN sea todavía una tarea difícil. Los métodos en uso son largos y tortuosos, y suelen apoyarse en procedimientos aleatorios. Guo Fang Hong, de la Academia china de Ciencia, y que investiga en el Laboratorio de Biología Molecular del Consejo británico de Investigaciones Médicas, ha diseñado un método para dar rápidamente con esas secuencias.

A finales de la década de 1970 se conocían dos métodos para determinar secuencias de hasta 400 nucleótidos. Uno se debía a Walter Gilbert y Allan M. Maxam, de la Universidad de Harvard, y el otro a Frederick Sanger, del Laboratorio de Biología Molecular del Consejo de Investigaciones Médicas. La mayoría de los genes, sin embargo, abarcan varios miles de pares de bases, por lo que el análisis de tales segmentos de ADN requería inevitablemente su fragmentación en unidades de 400 pares de bases. Se secuenciaban entonces los distintos trozos y, a partir de zonas de solapamiento, se reconstruía pacientemente el segmento inicial. A medida que avanzaba el proceso aumentaba también la probabilidad de que un fragmento cualquiera incluyera una gran proporción de nucleótidos cuya secuencia se hubiera determinado con anterioridad. Tal tipo de técnicas, conocidas por métodos de perdigonada, van reduciendo la velocidad de avance a medida que se aproximan al final.

Si se cumplieran ciertos requisitos podrían secuenciarse con gran exactitud y rapidez fragmentos mucho mayores de ADN con otras técnicas ya conocidas. Imaginemos 10 copias de un segmento de ADN de 2000 pares de bases. Una de las copias se deja intacta; de la siguiente se eliminan 200 pares de bases, de otra, 400, y así sucesivamente. Se tiene entonces una serie de fragmentos que van de los 200 a los 2000 pares de bases.

Aplicando los métodos convencionales de secuenciación se obtendrá información de 400 pares de bases de cada fragmento, a partir del extremo seccionado. Puesto que los fragmentos difieren sólo en 200 pares, las secuencias obtenidas se solaparán. No queda más que alinear las regiones solapadas para obtener la composición de la pieza original de ADN. Tal es la base del método de Hong; sin embargo, para obtener fragmentos de ADN que midan exactamente lo preciso, en la serie ordenada, se requiere un conjunto de ingeniosas manipulaciones.

Hong partió del ADN de un virus conocido por fago lambda, que infecta bacterias. Se empleó una endonucleasa de restricción, la Hind III, para seccionar un fragmento del ADN vírico de 2327 pares de bases. (Una endonucleasa de restricción es un enzima que corta el ADN precisamente en un punto donde se presenta un grupo específico de pares de bases.) Se utilizó esa misma endonucleasa, junto con otros enzimas, para insertar el fragmento en una doble cadena circular de ADN del virus M13, que se utilizó como vector para introducir el ADN de lambda en una cepa de la bacteria *Escherichia coli*. El vector se diseñó de forma que, en la vecindad del extremo del ADN de lambda, hubiera un punto de corte de la endonucleasa de restricción Sma I. Junto al punto de corte había otro de iniciación, formado por un grupo de pares de bases distinto, a partir del cual las técnicas de secuenciación comienzan a informar del orden de las bases nucleotídicas.

Se introdujo el bucle en una bacteria, en la que se replicó muchas veces. Se recuperaron las copias y se las sometió a la acción del enzima ADNasa I, que, a diferencia de las endonucleasas, corta la molécula de ADN al azar. El proceso da lugar a numerosas moléculas lineales, resultantes de la rotura del bucle en distintos sitios.

Interesaban las moléculas que hubieran sufrido el corte en el interior del fragmento del ADN lambda. Hong ideó un método para aislarlas de los bucles fraccionados en el ADN de M13. Las moléculas elegidas poseían, por tanto, el ADN de M13 intacto, flanqueado en cada extremo por un breve fragmento del ADN de lambda. Las longitudes de los fragmentos de lambda diferían de una molécula a otra.

En cada bucle, en el límite entre el ADN de M13 y uno de los segmentos del ADN de lambda, se encontraba el sitio Sma I, y en sus aledaños el sitio de iniciación. Se utilizó el sitio Sma I para eliminar el trozo de ADN de lambda que se proyectaba más allá del punto de corte. El ADN restante se reempalmó en forma de anillo. Dada la posición del lugar Sma I y del punto de iniciación, este último, de cada molécula lineal, quedaba empalmado al extremo seccionado del ADN de lambda situado junto al otro final del ADN del virus M13.

Los bucles refundidos poseían, pues, un trozo de ADN de lambda cuya longitud dependía del punto de corte, por la ADNasa I, del bucle original; puesto que este enzima actúa al azar, las longitudes obtenidas variaban ampliamente. Se reinsertó la serie entera en *E. coli* y se obtuvieron réplicas. Tras la replicación se separaron los bucles de ADN de acuerdo con la longitud del material genético de lambda. Lo que dio unas 160 muestras distintas. Para determinar la secuencia nucleotídica del ADN de lambda original se precisaban alrededor de 10 muestras que difirieran en unos 200 nucleótidos y cuyos extremos se solaparan. Se seleccionaron 24 muestras que parecían satisfacer los requerimientos en cuanto a longitud.

Para precisar la selección se ensayó si los extremos de las muestras se solapaban. Para ello se utilizó un procedimiento que forma parte del método general de secuenciación de Sanger. En éste, mediante cuatro reacciones se obtiene información sobre la posición de los cuatro nucleótidos a lo largo de la cadena de ADN. Hong utilizó el método de Sanger para localizar las bases de timina. Se consideró la secuencia de timinas en el extremo seccionado del ADN de lambda y unos 200 pares de bases más allá. La presencia del punto de iniciación determina que la secuencia proceda desde el extremo seccionado hacia el extremo no seccionado.

Comparando las secuencias de timina se advertía si dos fragmentos cualesquiera de la muestra de 24 tenían extremos solapados; Hong seleccionó así 11 fragmentos con solapamientos que cubrían la longitud completa del ADN de lambda intacto. No quedaba ya sino aplicar el método de Sanger a los segmentos de 400 nucleótidos, a partir del extremo seccionado de cada fragmento, y determinar la secuencia de la cadena. El método de Hong ofrece buenas perspectivas. Y puntualiza: "la longitud del ADN sometido a lectura sólo parece estar limitada por la capacidad de inserción del vector".

EXIT

SET RANGE

SET POSITION

SET SPEED

STEP

STEP BACK

MOVE FORWARD

MOVE BACKWARD

CANCEL

ZOOM

ORIG. WINDOW

MEASURE DIST.

--------------

A.0 , 1 TAPE
A.0 , 1 RANGE
9.0 , 45 CURRENT
11.0 , 39 RANGE
11.0 , 39 TAPE
1.0000 --SPEED--

PICK MENU ITEM

# Mecanización del diseño y de la fabricación

*Sin detenerse la mecanización de fábricas y talleres, se están introduciendo cambios más significativos a través de una nueva tecnología para las distintas fases de proyecto, planificación, administración y coordinación de las industrias*

Thomas G. Gunn

Podría parecer que la fábrica es el lugar de trabajo donde la mecanización ha arraigado con más fuerza. El propio origen de la factoría moderna se remonta a la introducción de maquinaria activada por la fuerza del agua y del vapor, en el siglo XIX, principalmente en la industria textil. Hoy, la fábrica típica se basa en una gran variedad de máquinas, hasta el punto de suponerse que el trabajo consiste allí en operar y mantener máquinas. La evolución más reciente de la relación del hombre con la máquina se contempla también en el contexto de la producción; las consecuencias sociales de la mecanización se han considerado, sobre todo, a la luz de sus efectos en los obreros. En esto hay una ironía: la producción en sí es uno de los sectores de la economía donde más difícil resulta apreciar todo el potencial de la tecnología disponible.

La mayoría de la gente desconoce los puntos idóneos para una mecanización industrial. Se ha puesto el énfasis, de una forma casi exclusiva, en el proceso de producción; la mecanización absoluta queda simbolizada en el robot industrial, una máquina diseñada para reemplazar, uno a uno, a los obreros. Pero no parece probable que sea en la fabricación o ensamblaje de un producto donde la mecanización se deje sentir con mayor incidencia. El trabajo a pie de máquina se lleva apenas el 10 o el 15 por ciento del coste de producción; los trabajadores empleados en esas tareas suman sólo dos tercios del total de personal de producción. El mayor reto que se ofrece, y las mayores posibilidades de mejorar la productividad, corresponden a la organización, programación y administración de la empresa entera, desde el proyecto hasta la fabricación, distribución y servicio. La complejidad de la fábrica moderna es impresionante: en algunas plantas se necesitan miles de piezas en almacén para cientos de productos. La complejidad de las operaciones ha terminado a veces amenazando con paralizar la planta de producción. No es nada extraño que una pieza de metal pase el 95 por ciento del tiempo requerido para su producción en espera de su turno de manipulación.

Así pues, la productividad del trabajador de fábrica depende en gran medida del diseño del producto y de la forma en que se acoplan los recursos humanos, la maquinaria y las materias primas. Sin mejorar estas funciones, aun cuando se alcanzara la sustitución total de los obreros por robots, no parece inmediato que se transformara la producción o los costes de los productos. Por ello, la contribución más importante que la nueva tecnología de proceso de datos ofrece a la productividad de la fábrica es su capacidad de unir el diseño, la administración y la producción en una red de información común. Las consecuencias sociales de esta coordinación pueden afectar mucho más a puestos de oficina que a plazas de taller.

En los Estados Unidos, las compañías que se dedican a la manufactura dan empleo a unos 20 millones de personas, lo que viene a constituir la quinta parte de la fuerza laboral. La proporción ha ido bajando en los últimos 40 años, en virtud del cambio operado en la economía norteamericana, de la producción de bienes hacia la producción de servicios, por un lado, y debido al desplazamiento tecnológico de los trabajadores, por otro.

La noción de fabricación engloba múltiples actividades y empresas. Hay industrias que producen la mercancía en un flujo continuo; el lector recordará el refino del petróleo, la fabricación del papel y la elaboración de muchas sustancias químicas. Característica común a estos procesos es la facilidad con que pueden controlarse por sistemas cerrados de retroalimentación. Pueden detectarse los cambios en la naturaleza del producto y utilizarse para ajustar la entrada de materias primas o los pasos intermedios de la fabricación. Otras industrias de proceso, como la del acero o del alcohol, trabajan, en general, por lotes de materiales.

Centraré mi exposición en un tercer

**CONEXION, A TRAVES DEL ORDENADOR, de las fases de proyecto y elaboración de los productos. Se ilustra con un sistema empleado por la General Electric Company para controlar la trayectoria de corte de una lima de torre vertical que da forma a un componente de un motor de aeroplano. En la fotografía superior se aprecian, en la pantalla de un terminal de diseño por ordenador, dos secciones que pasan a través del eje radial de la pieza discal. La sección exterior muestra la forma de la pieza antes de sufrir el proceso; la sección interior, la pieza terminada. Sobre las secciones aparece esquematizada la herramienta de corte del torno en una de las posiciones que toma durante el proceso. La trayectoria está controlada por un programa de ordenador; el programador, que debe conocer la geometría exacta de la pieza para programar la herramienta, recibe esta información de una base central de datos, donde queda archivada durante el diseño de la pieza. La trayectoria de la herramienta se reproduce luego en la pantalla para que el programador verifique que el corte procederá tal como se pretende y sin interferencias. La fotografía inferior nos ofrece la herramienta verdadera en una posición correspondiente a la simulada en el terminal del ordenador. Para cortar, el disco gira sobre un torno subyacente a la herramienta y se mueve según el trayecto establecido por el programa. El disco, de una aleación de titanio, forma parte del compresor de alta presión del motor turbofan CF6-50. El motor se emplea en aviación civil y militar, como el Boeing 747 y el DC-10 de McDonnell Douglas; tiene un empuje de unos 23.000 kilogramos.**

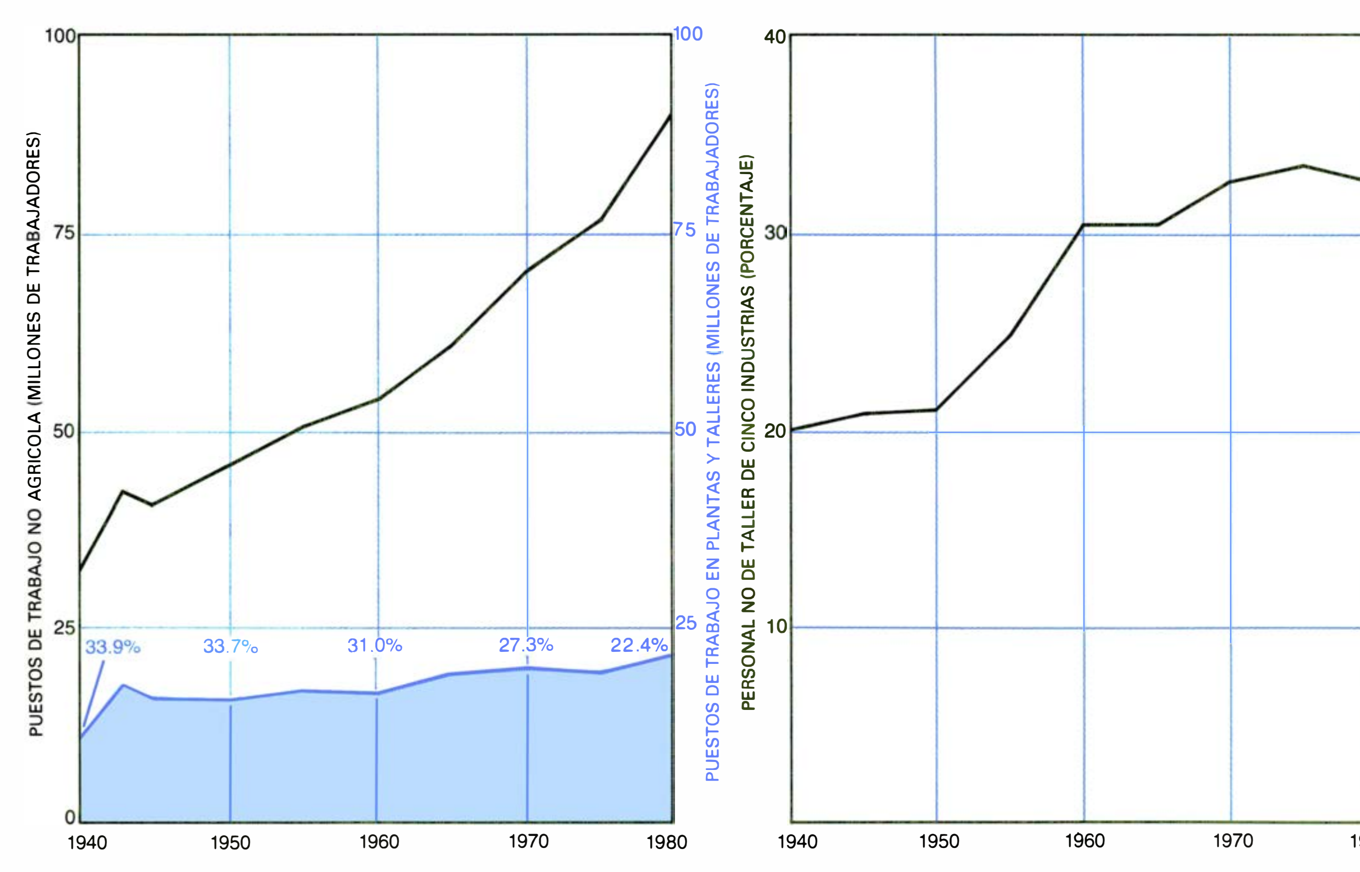
tipo de industrias: las que proyectan y fabrican productos discretos. (Ni proceso continuo ni lotes, pues.) La fabricación de productos discretos es una categoría amplia y variada. Engloba la fabricación y el ensamblaje de automóviles, aeronaves, ordenadores y sus componentes microelectrónicos, muebles, electrodomésticos, alimentos, embalajes, materiales de construcción y herramientas para maquinaria. En estas industrias y en las muchas que se les asemejan, parecen más pingües los beneficios potenciales de la tecnología del proceso de datos. Hubo que esperar a los últimos 20 años para que el fabricante de productos discretos lograra un circuito de retroalimentación en sus operaciones (y de este modo obtener el control continuo sobre ellas) con métodos análogos a los del fabricante de procesos.

Un ejemplo de fábrica de productos discretos al que me referiré frecuentemente es el taller de mecánica. Se fabrican en él piezas de metal a través de una secuencia de operaciones: cortar, taladrar, fresar, pulir y tornear. Los mismos útiles mecánicos pueden servir para hacer una amplia gama de piezas, desde cañones de pistola hasta árboles de levas; lo que cambia es la secuencia de operaciones llevadas a cabo con cada útil y la secuencia de los útiles a usar. La versatilidad de las herramientas dificulta la organización eficaz de las operaciones de una fábrica de maquinaria. Hace algún tiempo se introdujeron métodos para programar, o controlar numéricamente, las herramientas mecánicas; métodos que terminaron por adoptarse. Ahora interesa más coordinar las operaciones de varias máquinas y controlar el flujo de trabajo en todo el taller.

A través de los años, los fabricantes han intentado planificar, controlar y realizar operaciones complejas creando grandes burocracias con muchos niveles de responsabilidad. En algunas compañías norteamericanas hay hasta 14 niveles de personal en la cadena de mando, desde el director general hasta el portero. La estructura jerárquica facilita, a la dirección de la compañía, la gestión de sus operaciones generales, pero la distancia organizativa entre el punto más alto y el más bajo entorpece el control minucioso de los recursos de mano de obra y maquinaria, el fijar fechas para su utilización y el seguimiento de las prioridades en los trabajos. Además, la jerarquía puede levantar barreras institucionales entre departamentos y bloquear el flujo interno de información. También puede crear una actitud de competencia "nosotros contra ellos" entre departamentos, lo que dificulta el funcionamiento de la organización en su conjunto.

Las barreras organizativas contra la comunicación se complementan a menudo con las físicas. La información transmitida oralmente o por escrito está sujeta a retrasos, errores y malentendidos al pasar de una persona a otra. El tiempo requerido para que circule un memorándum puede abortar una acción pronta y colectiva. Ello ha acarreado que las grandes organizaciones de producción hayan respondido con lentitud al cambio de las condiciones del mercado. Otra consecuencia de los impedimentos que ponían trabas a la comunicación era la necesidad de tener en almacén grandes inventarios de los productos, piezas y materiales a un coste considerable en espacio, seguros y manejo.

Hacia la década de 1950, la carga producida por el papeleo y la comunicación verbal en muchas empresas de fabricación había llegado a un punto exasperante. Para lograr que se hiciera un trabajo a su debido tiempo, las com-



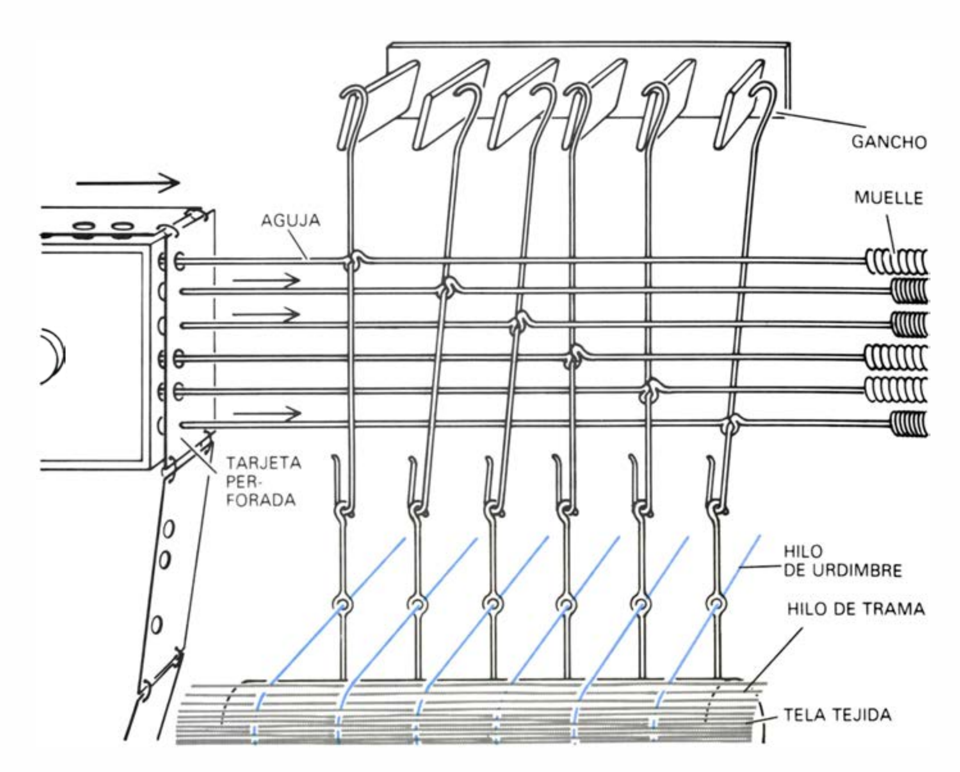

**PROPORCION DE TRABAJADORES indirectamente relacionados con el sector industrial (planificadores, expedidores, vendedores, administradores, etcétera) en los Estados Unidos. Esa fracción ha aumentado a medida que se reducía la fuerza laboral implicada de una forma directa en el sector de producción. Hay ahora unos 20 millones de trabajadores en el sector, vale decir, un 22 por ciento del número total de trabajadores no agrícolas. En las cinco industrias más mecanizadas (productos metálicos fabricados, maquinaria, equipos electrónicos y eléctricos, equipos de transporte e instrumentos y productos relacionados con éstos) los trabajadores que intervienen en la elaboración directa de la mercancía constituyen tan sólo unos dos tercios del total.**

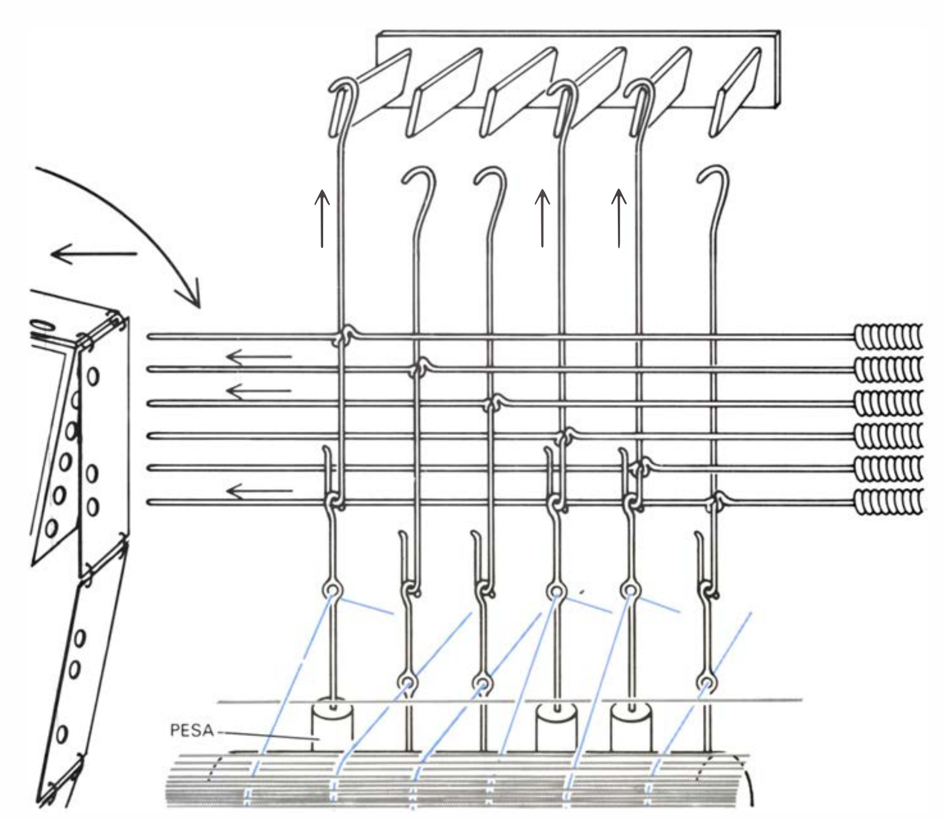
pañías empezaron a emplear "celadores", que operaban al margen de la jerarquía de la organización y a quienes incumbía tener lista la mercancía.

Las empresas introdujeron el ordenador a principio del decenio de 1960. Se aplicaron en un comienzo al registro de transacciones financieras, pero gradualmente se fueron encargando de otras funciones: control de inventarios, previsión de fechas de producción y paso de una pieza de un proceso a otro en la fábrica. Al diversificarse las aplicaciones, y a medida que varios departamentos de la compañía adaptaban el ordenador a sus necesidades, se hizo patente que las ventajas que ofrecía la tecnología de los ordenadores en cada departamento podían multiplicarse si se enlazaban ciertos departamentos o funciones.

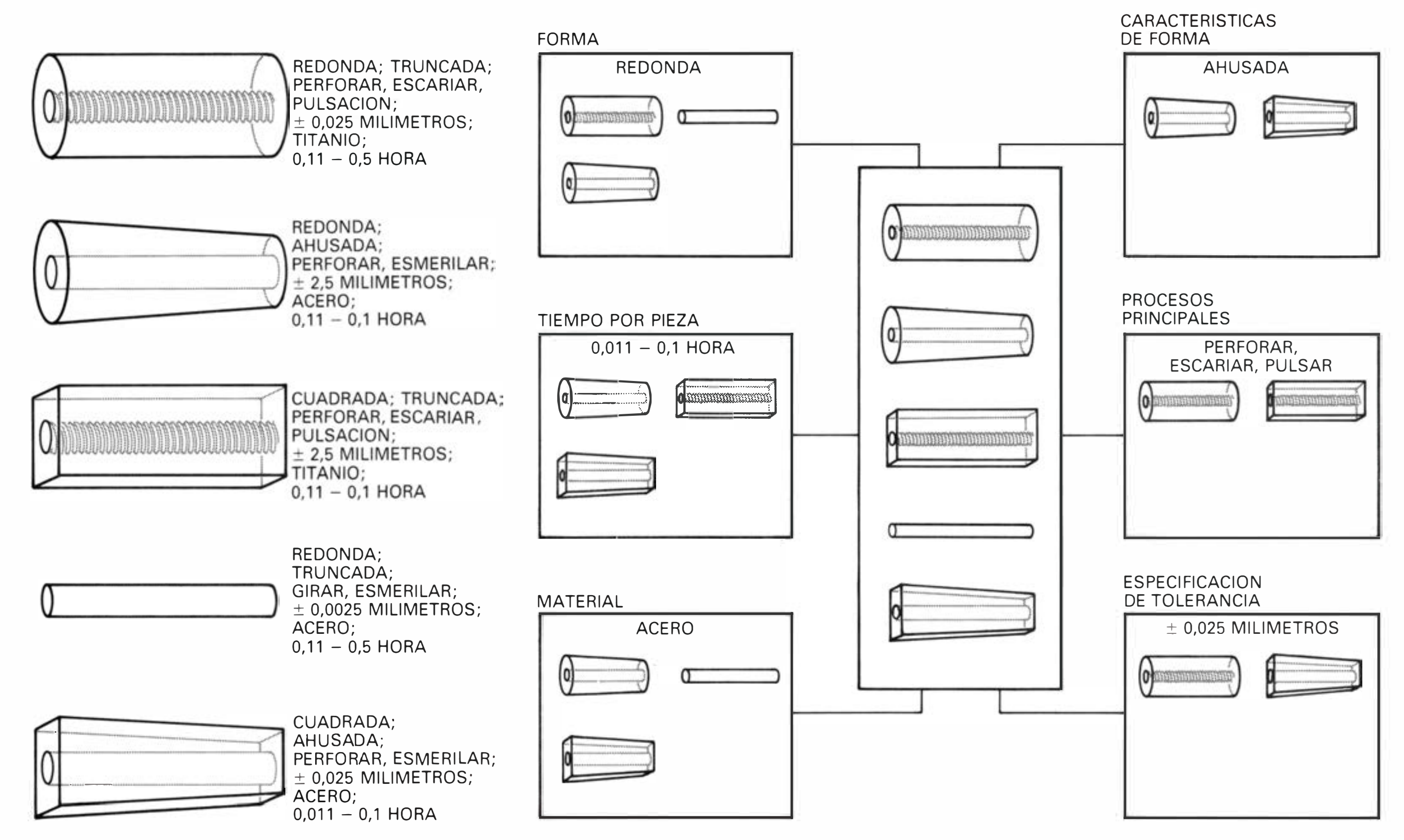
Las primeras funciones que influyeron directamente en las operaciones de producción no lo hicieron sobre ésta, propiamente dicha, sino que afectaron a la fase de proyecto o diseño de la mercancía. A mediados de los 60, ingenieros de la General Motors Corporation empezaron a trabajar con especialistas en programación de la IBM para desarrollar un sistema de diseño auxiliado por ordenador. El sistema se reputó al principio como una herramienta de dibujo refinada. El ingeniero de proyectos utilizaría un tablero para especificar ciertos datos numéricos de la pieza, pero podría emplear una pluma sensible a la luz directamente sobre la pantalla de un tubo de rayos catódicos para "dibujar" o insertar datos geométricos en el ordenador. Aunque el movimiento de la pluma sobre la pantalla correspondiese sólo aproximadamente a la forma de la pieza, el ordenador estaba programado para combinar los datos numéricos y geométricos de forma que el esbozo del diseñador se transformase rápidamente en un plano preciso de ingeniería. Puesto que el plano quedaba archivado en la memoria del ordenador, podía recuperarse el diseño en cualquier momento.

La información que determina la geometría de una pieza se necesita también para determinar la pauta que debe seguir una máquina cortadora, así un torno, a la hora de conformar una pieza. (La especificación del patrón a recortar también debe atender a la capacidad de la máquina cortadora, de qué material está hecha la pieza, forma de la herramienta cortante, velocidad y profundidad de corte y otras variables.) Tradicionalmente, el encargado de la máquina la ajustaba según planos faci-

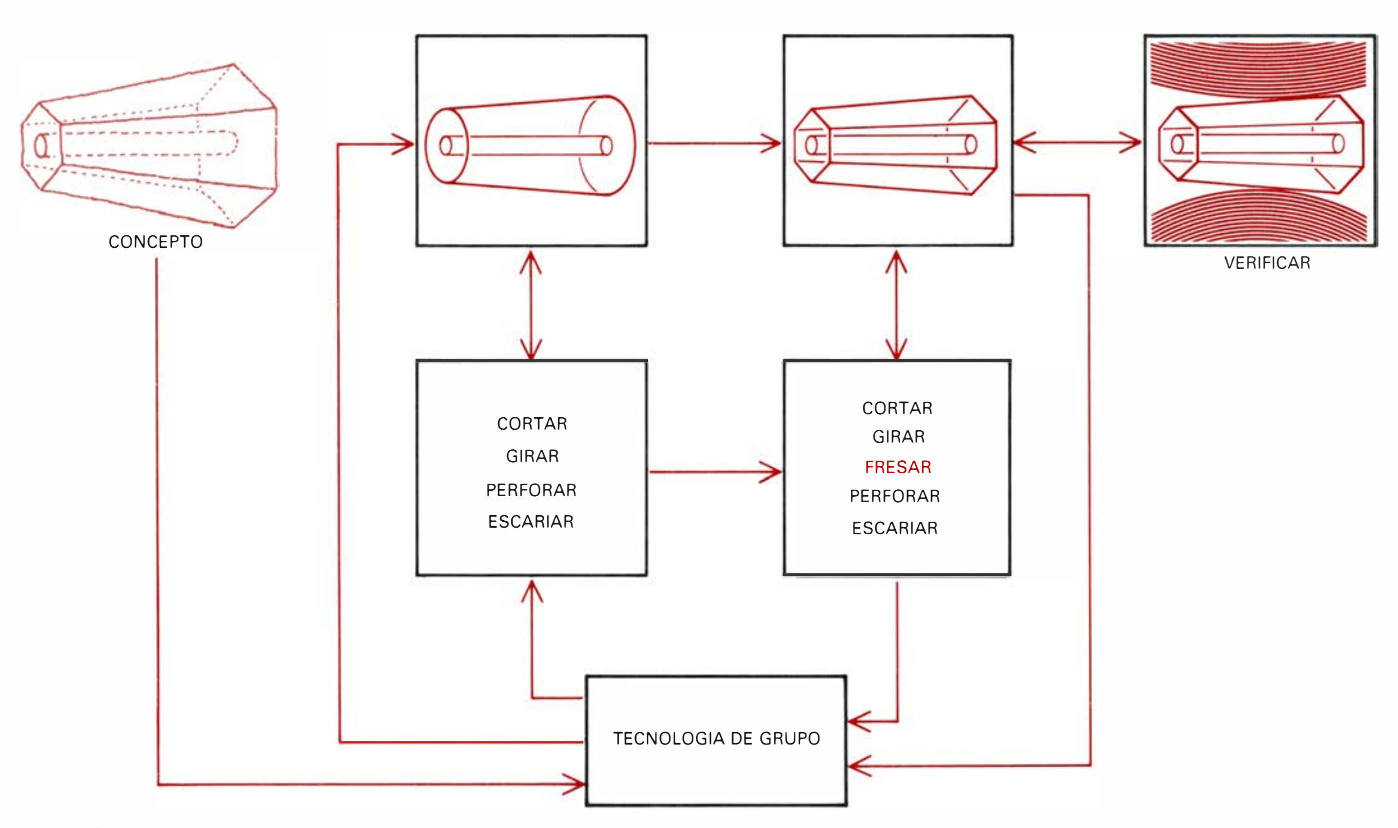



**TELAR JACQUARD, primera máquina industrial controlada a través de un programa almacenado de operaciones. El programa se codificaba en una serie de tarjetas perforadas según diseños especiales. Precedió a la herramienta mecánica de control numérico. A través de un recurso ingenioso, el dibujo del tejido que se está trabajando en el telar se hace corresponder con el de la tarjeta. Se conecta mecánicamente una hilera de agujas a la urdimbre, es decir, a los hilos verticales, y se acerca a las tarjetas. Si la aguja entra en un agujero, el hilo correspondiente se levanta en la fase siguiente del proceso de tejer y aparece en la superficie superior de la tela. Si la aguja no entra en el agujero, su hilo aparecerá en la cara inferior. Las tarjetas permiten ejecutar una secuencia compleja de acciones automáticamente, así como variar la secuencia cambiando las tarjetas. Fue inventado por Joseph-Marie Charles Jacquard en 1801.**




**BENEFICIOS QUE LA MECANIZACION reporta a una fábrica. Derivan de la administración más eficaz de la información y del control automático de la maquinaria. La tecnología de grupo es un sistema de archivo electrónico por el cual los nombres de las piezas fabricadas se guardan con una lista de características descriptivas: forma, material y las operaciones necesarias para su producción. Se puede entonces generar una lista de piezas de determinadas especificaciones. La tecnología de grupo elimina el diseño de una pieza si se puede identificar una pieza anterior que sirva para el mismo propósito.**

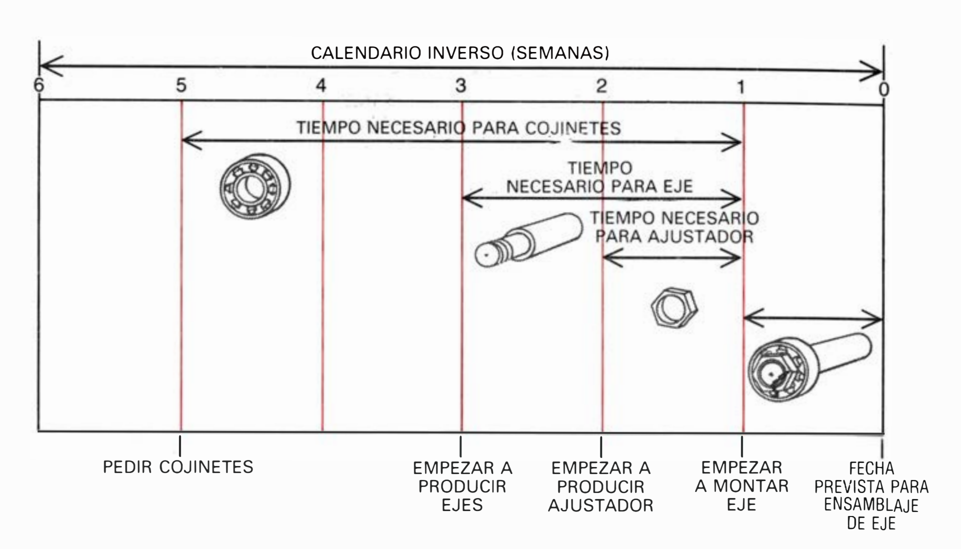



**SIMPLIFICACION DEL DISEÑO y planificación de procesos auspiciados por la tecnología de grupo. Si se necesita una pieza nueva, el diseñador puede investigar el inventario de piezas ya fabricadas almacenado en el archivo electrónico del grupo según las características específicas de la nueva. Por ejemplo, si el proyectista la quiere ahusada, de sección poligonal, de acero y perforada a lo largo del eje radial, el archivo podría disponer de información sobre una pieza cónica, truncada y perforada ya fabricada, junto con los pasos de su proceso de elaboración. El ingeniero puede entonces modificar el diseño viejo y procesar el plano para crear la nueva pieza sin partir de cero. El nuevo diseño puede experimentarse con la ayuda de un programa de ordenador que responda a las especificaciones de ingeniería; el diseño y la planificación del proceso se almacenan a continuación en el archivo de la tecnología de grupo.**

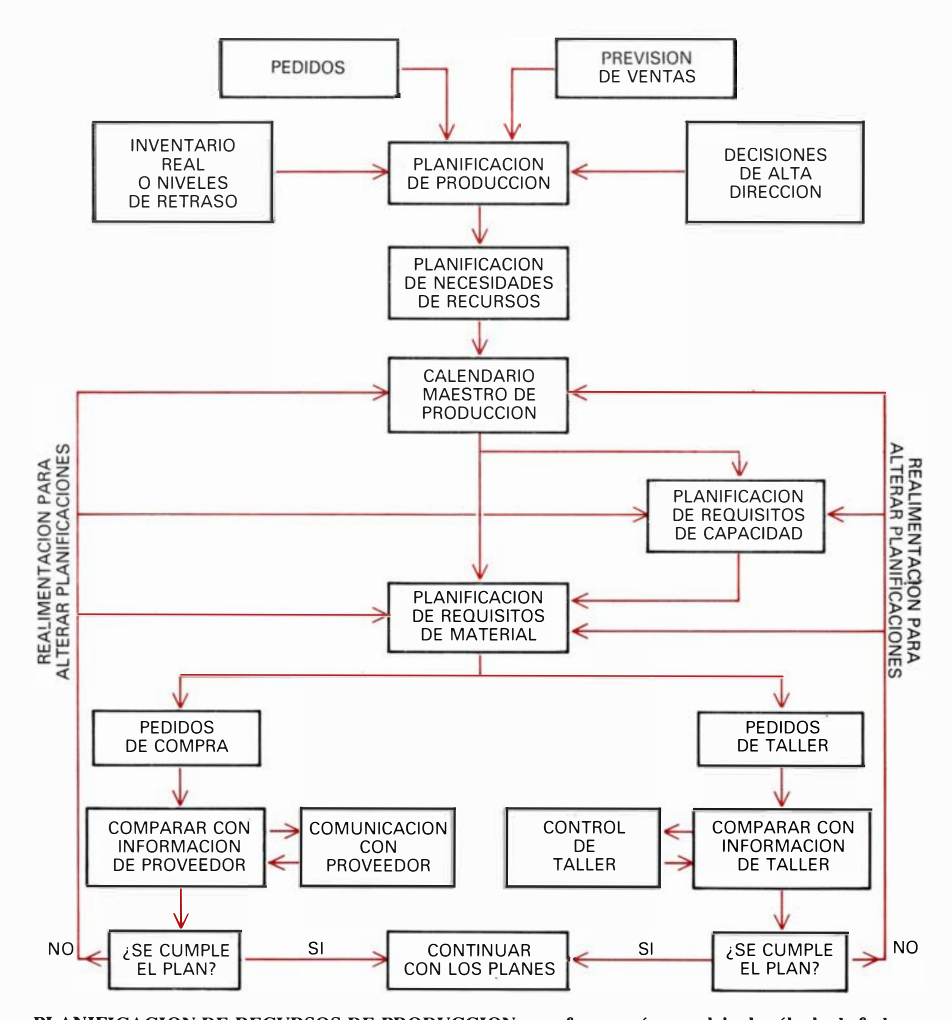
litados por el delineante; cuando se introdujeron herramientas mecánicas controladas numéricamente, el programador que preparaba la secuencia de instrucciones obtenía incluso información geométrica de los planos. Proyectistas y programadores pronto vieron, sin embargo, que el programador podía obtener la geometría de la pieza directamente de los datos, una vez introducidos por el diseñador en el ordenador; podían eliminarse los planos de ingeniería. En muchas circunstancias, la programación de operaciones de herramientas mecánicas es tan rutinaria que apenas necesita intervención humana, una vez se conoce la geometría de la pieza.

La necesidad de información similar al diseñar una pieza y al programar una herramienta mecánica para fabricarla ilustra otra contribución importante a la productividad en la fabricación, que puede lograrse al conectar información computarizada. Antes de la llegada de los ordenadores, la información relativa a un producto solía andar fragmentada entre los distintos departamentos de la empresa. Los proyectos de ingeniería contenían cierta información descriptiva acerca de un producto, así como de su geometría, mas los pormenores acerca de cómo fabricar el producto, máquinas a emplear y momento de procesado en determinada máquina se guardaban en el departamento responsable de esa fase concreta de la elaboración. Gran parte de la información era redundante, y su transmisión creaba dificultades a la hora de mantenerla precisa y al día.

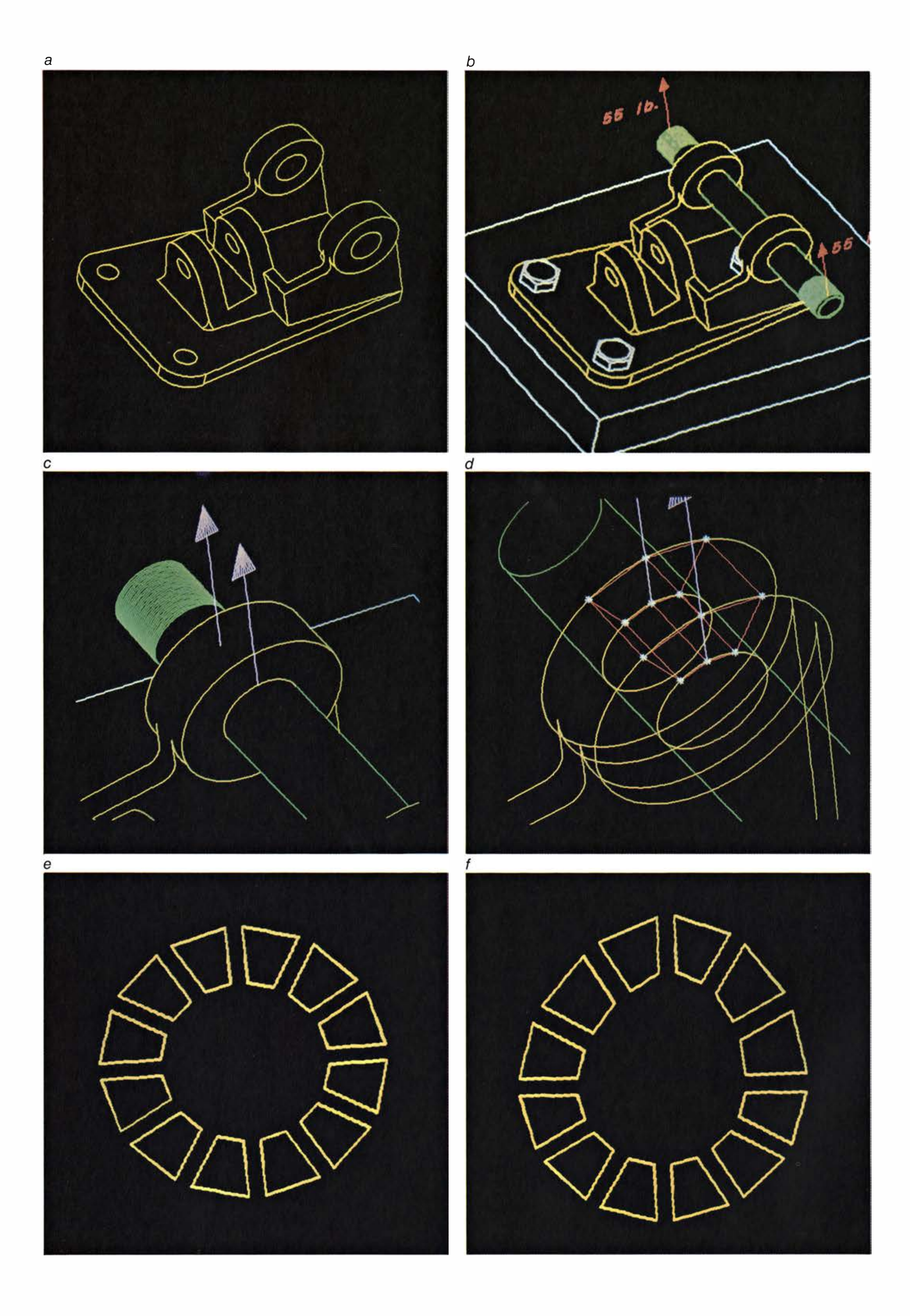
Con mis colegas he acotado seis áreas funcionales que hoy suelen conectarse para ordenar el flujo de información a través de la fábrica. Son: proyecto, almacenamiento y recuperación de información de las partes manufacturadas, administración y control de los recursos disponibles (trabajo humano, maquinaria y material) según el flujo de la demanda, manejo de materiales, control de herramientas mecánicas y otros dispositivos de función única y, por fin, control de robots. Relacionando las seis áreas se puede conseguir lo que Joseph Harrington, Jr., de la Arthur D. Little, Inc., ha dado en llamar "fabricación integrada en ordenador". Importa caer en la cuenta, sin embargo, de que la tecnología de procesamiento de datos debe estar suficientemente desarrollada en cada una de las áreas para que valga la pena estimar los beneficios obtenidos por su "relación".




**FIJACION INVERSA de fechas a partir del día en que la mercancía tiene que estar lista. Se determina así cuándo deben fabricarse o comprarse a los proveedores las piezas componentes. Si el componente llega en la fecha en que se necesita y no antes, los gastos asociados con el mantenimiento de un inventario (tales como seguros, almacenamiento y coste de capital) pueden reducirse en gran parte. Para limitar el inventario sin causar demoras, el cálculo de fechas será preciso y completo. La figura muestra cómo emplear este método para fijar fechas de producción para una pieza de tres componentes. La programación adecuada depende del análisis cuidadoso del tiempo necesario para preparar y fabricar cada pieza.**




**PLANIFICACION DE RECURSOS DE PRODUCCION: una forma más compleja de cálculo de fechas a partir del día en que ha de estar lista la mercancía; se tienen en cuenta el inventario, el pedido, ventas previstas y las prioridades administrativas para generar un calendario guía de producción. Un ordenador puede generar calendarios detallados de producción para miles de piezas, materiales y exigencias subsidiarias del proceso. El éxito del sistema depende de una realimentación rápida y precisa del estado de las piezas, materiales y otros recursos, que deben cumplir con las fechas límite del calendario para conformarse el calendario guía. El diagrama de flujos señala las vías ideales de información en un sistema así.**


a
b
55 lb.
55
c
d
e
f

Quizás el caso más sorprendente de aumento de productividad como resultado de la aplicación de tecnología informática sea el diseño de piezas y procesos de producción. Los programas de diseño ayudados por ordenadores pueden llevar a cabo transformaciones geométricas a una velocidad tal que el diseñador ya no se ve limitado a los planos frontal; lateral y superior característicos de los planos hechos a mano. Puede observar la rotación de la pieza sobre cualquier eje en la pantalla, "acercarse" a la pieza y detenerse en los detalles que le interesen o distanciarse para contemplar la pieza entera. Se puede obtener cualquier sección de la misma. Si la pieza se ha de acoplar a otras durante el montaje, el diseñador puede moverlas sobre una pantalla para comprobar su compatibilidad. Se eliminan así muchos prototipos y modelos.

La imagen de la pantalla puede guardarse permanentemente en los datos registrados en una cinta magnética o disco. Si se necesita una copia en papel, en breves segundos la dibuja un dispositivo controlado por el ordenador. Puesto que la electrónica permite alterar sin dificultad el diseño, puede cambiarse tantas veces cuantas se quiera sin necesidad de dibujarlo de nuevo. El diseño se halla al alcance de todos los que deben trabajar una vez archivado electrónicamente; por consiguiente, pueden adelantarse funciones de producción tales como planificación y previsión de la producccción. Y si pensamos que las alteraciones se hacen en el diseño del archivo central, caeremos en la cuenta de que es más difícil que nadie trabaje con una versión anticuada.

La rápida disponibilidad del diseño para toda la compañía elimina barreras institucionales entre los departamentos de diseño y de fabricación. Puesto que la pieza puede visualizarse en cualquier orientación, a cualquier escala y en cualquier sección, la intención del proyectista queda mucho más clara que en un plano con las tres secciones tradicionales. Por otro lado, uno de los grandes beneficios para el diseñador es que puede hacerse un análisis de ingeniería con suficiente rapidez para ensayar varios proyectos alternativos. Los ingenieros pueden analizar la pieza para ver su respuesta a diferentes tipos de carga sin llegar a construir un modelo o prototipo.

El análisis de ingeniería se efectúa también con la ayuda de un ordenador en un terminal de tubo de rayos catódicos. En el método conocido por análisis de elementos finitos, la pieza se divide en muchos elementos pequeños, o células, y se observa sobre la pantalla la respuesta de cada elemento a la carga. El ordenador puede generar una imagen del aspecto de la pieza deformada por una carga mecánica, mostrando dónde se encuentran las regiones más débiles. Otras propiedades que varían con la posición, así la conductividad térmica y eléctrica, pueden inducirse con un código de color para cada célula.

La aplicación del diseño ayudado por ordenador mejora, en general, por un factor de tres o más la productividad del departamento de diseño y genera notables beneficios a los fabricantes. En la General Motors, por ejemplo, el rediseño de un modelo de automóvil requirió 14 meses, frente a los 24 de costumbre. Otra compañía redujo el tiempo necesario para diseñar válvulas especiales de seis meses a uno. Un fabricante de moldes para piezas de plástico aumentó su producción de 30 moldes por año a 140, con sólo potenciar la eficacia aportada por un sistema de diseño computarizado. Además, el mayor ahorro resultante de los sistemas de diseño computarizados suele darse durante el montaje del producto final: la mayor calidad de los componentes hace el montaje más rápido y fácil.

La información almacenada en un ordenador que especifica el diseño geométrico de una pieza y las etapas de su fabricación no tiene por qué limitarse a la pieza para la que se introdujo inicialmente. A la hora de diseñar una pieza nueva y planificar su evolución en la fábrica conviene atender a proyectos y procesos ya establecidos para una pieza similar. La necesidad de identificar estas piezas rápidamente puede solucionarse con un sistema racionalizado para el almacenaje y recuperación de información sobre las piezas, un sistema llamado tecnología de grupo.

La tecnología de grupo es un fichero que contiene cada una de las piezas manufacturadas por la empresa, más un sistema para seleccionar las fichas en razón de las distintas características de las piezas. Las piezas pueden clasificarse según la propia conveniencia de la empresa; en general, tienen un código para sus características físicas (tamaño, forma, volumen y materiales utilizados) y las características del proceso de fabricación (tiempo requerido para preparar la maquinaria, secuencia de máquinas empleadas y número de piezas producidas por lote). Una vez clasificadas las piezas, el encargado de delinear los proyectos para una nueva pieza puede obtener una lista de piezas con rasgos similares. Puede entonces idear la producción de la nueva especificando que el proceso de fabricación repetirá el de la pieza antigua, haciendo constar cualquier diferencia. Este procedimiento se llama planificación de variantes de procesos.

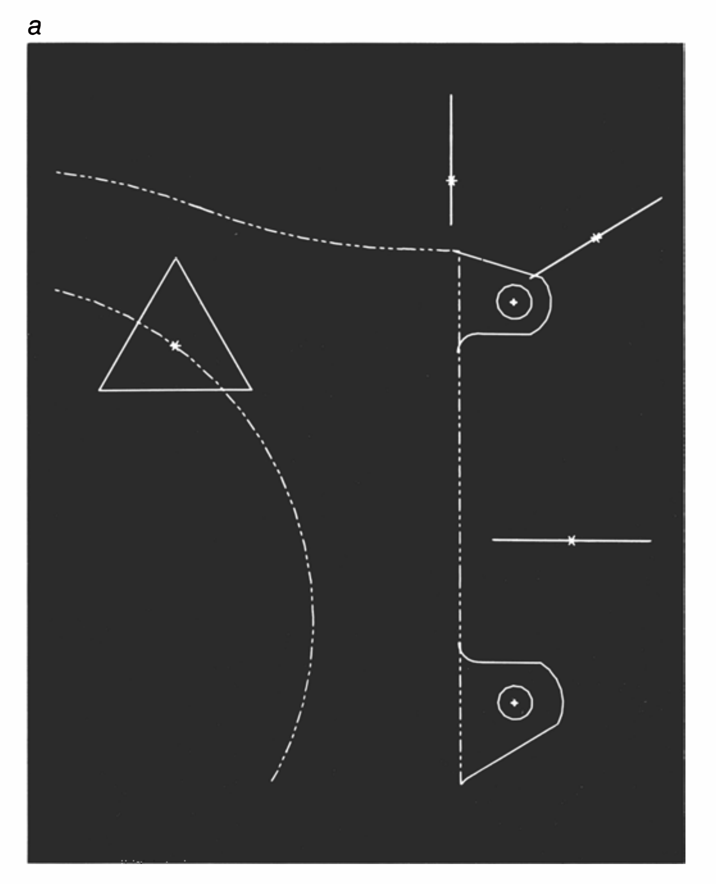
El ahorro de trabajo que supone la tecnología de grupo es sorprendente. Se ha demostrado que, en muchas empresas, sólo un 20 por ciento de las piezas de las que en principio se consideraba que requerían un nuevo diseño lo necesitaban realmente; de las restantes piezas nuevas, un 40 por ciento podía construirse con un diseño ya existente y el otro 40 por ciento podía crearse modificando un diseño anterior.

La tecnología de grupo no sólo es aplicable a la planificación, también lo es a las máquinas de producción. Estas pueden agruparse según las piezas que manipulan. Pueden clasificarse, asimismo, en pequeñas células de máquinas, dedicada cada una a la producción de una sola familia de piezas. Este reagrupamiento permite un mayor ritmo de producción y un uso más eficaz de la maquinaria.

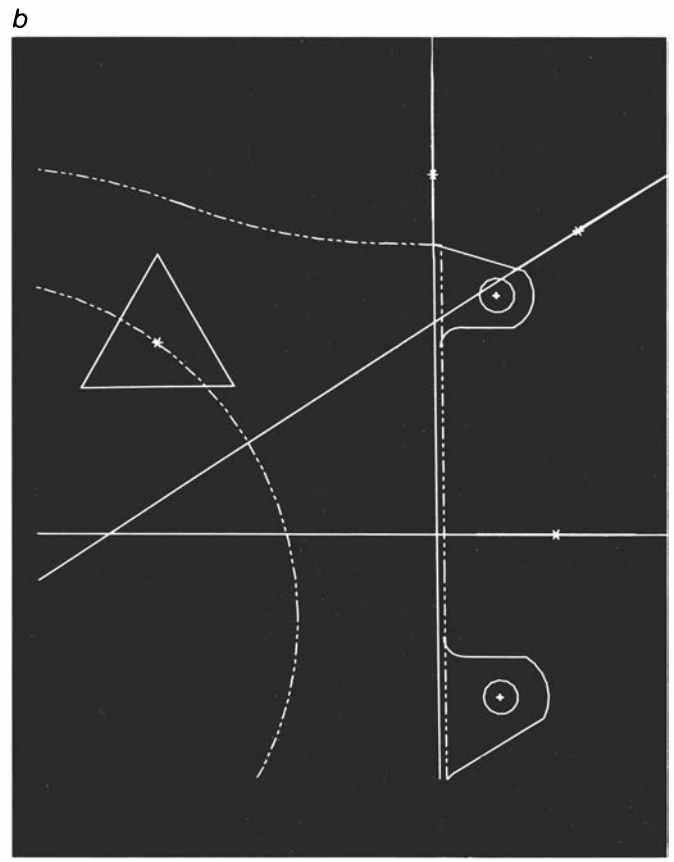
La asignación de los recursos de una fábrica para maximizar los beneficios o la productividad sería un problema matemático demasiado difícil. Habría que aplicar los métodos de compaginar la teoría y la programación lineal a una situación donde concurran cientos de máquinas y trabajadores, miles

**ANALISIS DEL DISEÑO Y LA INGENIERIA. Se lleva a cabo con gran eficacia en un terminal de ordenador provisto de programas especializados. El operador puede manipular el terminal introduciendo datos y órdenes con un teclado, empleando para ello un "menú" de órdenes de intención especial o señalando en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (o en una superficie situada delante de la pantalla que corresponda punto por punto con las regiones de la pantalla), con un lápiz especial; además, pueden darse unas cuantas órdenes de uso frecuente a través de un panel de control manual. En las fotografías de la página opuesta se muestra el análisis de las fuerzas en un aparato llamado lámina de abrazadera (*a*). La placa, esbozada, se atornilla, pasa un eje entre los dos "cuellos" y se aplica la fuerza a analizar verticalmente y hacia arriba (*b*). Para averiguar los efectos de la fuerza en un "cuello", el eje y uno de los "cuellos" se amplían (*c*); se secciona el cuello en planos (*d*), formando una matriz de pequeñas regiones. Las regiones se visualizan mejor en la pantalla si cada región se reduce en tamaño lo suficiente para que aparezcan separadas. Este último proceso se efectúa sólo para mejorar la claridad; no afecta al análisis. Se rota la configuración descargada del anillo para que su eje sea perpendicular a la pantalla (*e*). Se calcula entonces la distorsión máxima del cuello bajo la carga y se proyecta el resultado de forma que la distorsión a lo largo de la fuerza aplicada aparezca ampliada 100 veces respecto de la distorsión en otras direcciones (*f*). Las imágenes han sido generadas por la Computervision Corporation de Massachusetts.**

a



b



**TERMINAL DE DISEÑO auxiliado por ordenador. Permite al proyectista crear formas complejas combinando otras más sencillas. En la fotografía de la izquierda (*a*), un terminal de ordenador muestra la silueta básica de una parte de la sección superior de una mampara del caza F-15. Se han definido tres planos perpendiculares al de la pantalla mediante tres segmentos de línea marcados con asteriscos. La orientación del plano de la mampara la indica un triángulo con un asterisco; si el triángulo es equilátero, como aquí, la mampara es paralela al plano de la pantalla. En la segunda fotografía (*b*),**

de productos potenciales y un número casi ilimitado de posibles secuencias para la producción de una mercancía. Pero el problema práctico no se reduce ya a cómo determinar la mejor configuración posible de personal, maquinaria y productos. La organización de la producción suele estar tan lejos del óptimo matemático que una misma solución claramente subóptima supondría una mejora sustancial. La necesidad inmediata es un método relativamente sencillo de planificación y control que acorte los largos períodos de espera y elimine gran parte de los costes asociados con el inventario.

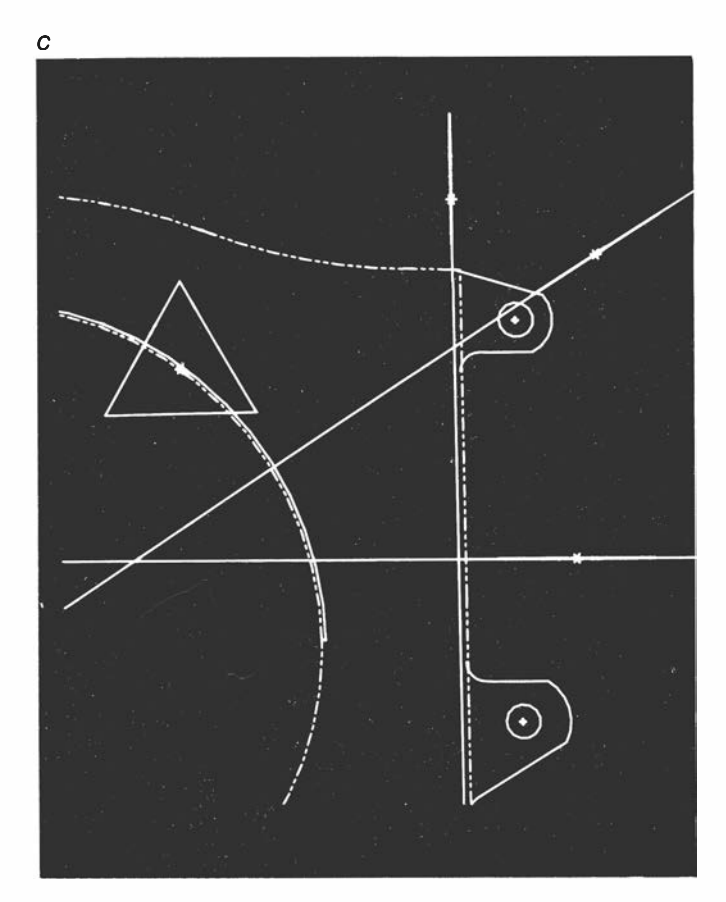
De muchas maneras puede intervenir el ordenador en la planificación y el control; la más sencilla es la llamada planificación de recursos de fabricación, que intenta prever la demanda de cada elemento en el proceso de manufactura en un momento dado. Un programa de este tipo indicaría cuántas máquinas pulidoras (y cuántos operadores para las máquinas) se necesitan en una planta donde se elaboran varios productos que requieren pulido. El método deriva de un sistema introducido por IBM en 1968 para determinar cuándo se necesitan ciertos materiales en la fabricación. La idea fundamental de la planificación de recursos de fabricación es que la planificación de personal, materiales, tiempo de máquinas y otros recursos que intervienen en la producción de la mercancía pueden estimarse extrapolando a partir de la fecha de entrega del producto listo. Si se planifica correctamente, no hay necesidad de mantener un almacén de partes ante la incertidumbre en la demanda de las piezas; cada pieza puede producirse justo antes de que se necesite.

Pongamos que una empresa se apresta a fabricar 50 tijeras de podar y distribuirlas el 1 de noviembre. Para determinar cuántos mangos de madera deben hacerse y cuándo han de estar hechos, el sistema consulta una lista estructurada de materiales para tijeras de podar. Halla que, para cada tijera, se necesitan dos mangos de madera. El sistema determina entonces que se necesita, pongamos por caso, una semana para ensamblar 50 tijeras de podar y dos semanas para hacer 100 mangos de madera. El proveedor de madera necesita la orden con una semana de antelación y así el sistema automáticamente genera un pedido de madera el 4 de octubre, cuatro semanas antes del día que las tijeras de podar deben estar listas para su envío. El sistema podría también generar pedidos de madera adicionales para tener en inventario, pero el inventario sólo cubriría al nivel necesario para prevenir riesgos de aprovisionamiento de madera; no se necesitaría reserva por incertidumbre de la demanda.

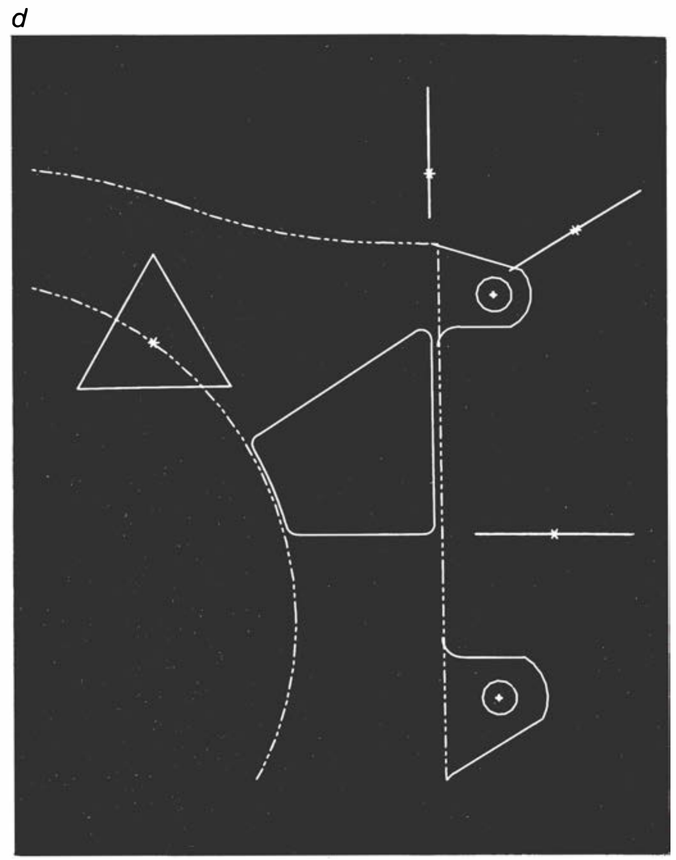
Para introducir la planificación de recursos de producción con éxito, la empresa ha de disponer de información precisa acerca de las piezas necesitadas en cada etapa del montaje de un producto, acerca del tiempo necesario para fabricar cada pieza (incluyendo no sólo el tiempo invertido en trabajarla, sino también el requerido para habilitar la maquinaria, trasladar la pieza de una operación a la siguiente y para los retrasos en espera de que se la procese en cada punto), acerca del tiempo necesario para comprar piezas a proveedores y sobre el propio inventario de la compañía. Muchas compañías han fracasado en su primer intento de establecer un sistema de planificación de recursos de fabricación por una insuficiencia de datos sobre estos elementos.

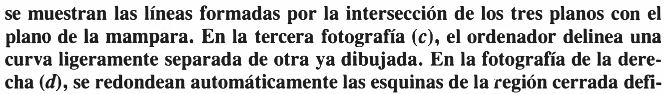
A pesar de todo, se han desarrollado

*c*



*d*





**se muestran las líneas formadas por la intersección de los tres planos con el plano de la mampara. En la tercera fotografía (*c*), el ordenador delinea una curva ligeramente separada de otra ya dibujada. En la fotografía de la derecha (*d*), se redondean automáticamente las esquinas de la región cerrada definida por la curva y las tres líneas. Las dimensiones de la región, aunque no aparezcan en pantalla, se almacenan en el ordenador para su recuperación en el momento necesario para el análisis de ingeniería o el diseño del proceso. Imágenes generadas por la McDonnell Douglas Corporation en St. Louis.**

más de 100 sistemas de este tipo, y se han aplicado en más de 10.000 fábricas. Su eficacia ha quedado especialmente patente en fábricas donde se elabora una amplia gama de productos en cantidades relativamente pequeñas; en estas circunstancias, el mantenimiento de un inventario grande absorbe gran parte del beneficio. Se han conseguido reducciones en el inventario de hasta un tercio y reducciones de hasta un 6 por ciento en el coste de piezas adquiridas.

La planificación de recursos de producción funciona bastante bien en talleres donde se fabrican muchas piezas en cantidades variables. En una situación de manufactura más repetitiva, tal vez resulte más eficaz un sistema desarrollado por la Toyota Motor Co. Ltd.: el sistema Kanban. En éste, la orden de factura de una pieza en una sección de la línea de producción sólo la cursan las demandas de la sección siguiente de la línea. Se pone así en funcionamiento una cadena de órdenes, de sección en sección, para un solo pedido de un producto acabado al final de la línea. Cada componente del producto acabado, como un automóvil, entra en la línea de la cadena de órdenes exactamente cuando se le necesita. Así, a diferencia del sistema anterior, que depende de la planificación detallada y centralizada de todos los subensamblajes, componentes y materias primas y de una retroalimentación precisa en cada puesto, el sistema Kanban depende sólo de la planificación central de la fabricación de productos acabados. Además, en el Kanban, las piezas se hacen en la cuantía precisa para la producción, sin márgenes para sobrantes o deterioros; una característica del sistema es que requiere unos niveles de control de calidad de los que pueden vanagloriarse, casi en exclusiva, las fábricas japonesas. En el futuro, los programas de ordenador probablemente incorporarán las mejores características de los sistemas de planificación de recursos de fabricación, para la producción de taller, y del sistema Kanban (hasta donde puedan integrar sus métodos las compañías no japonesas), en el caso de la producción repetitiva.

Los principios básicos de la planificación de recursos de fabricación pueden generalizarse de varias maneras. La generación de pedidos de piezas a tiempo puede basarse en la fecha en que el producto debe llegar a determinado almacén o centro de distribución, en vez de en la fecha de envío. Este método de planificación se llama planificación de recursos por distribución; ha de tener en cuenta el tiempo que necesita el transporte. Se puede emplear para establecer fechas de envío de mercancías distintas, convirtiéndose en datos de entrada de un sistema de planificación de recursos de fabricación.

El ordenador puede reunir rápidamente información de un sistema de planificación de manufacturación o de distribución y confeccionar así resúmenes para la gestión empresarial. Los informes incluirían el conjunto de pedidos pendientes, los stocks, producción diaria y la diferencia entre las entradas y las salidas de la planta industrial. Si la dirección quiere considerar otros ritmos de producción, movimiento del almacén y demás, el ordenador puede simular inmediatamente las consecuencias de los cambios para el resto de la empresa. Una vez escogido el plan de producción, puede optimizarse todavía por las más rigurosas técnicas matemáticas de programación lineal y teoría de colas.

Un requisito común de todas las versiones de planificación de recursos es la

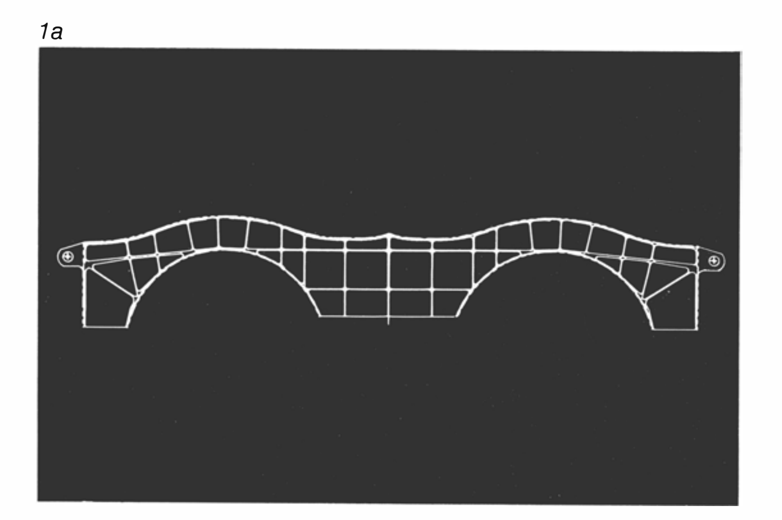
retroalimentación de las operaciones de taller. Se puede reunir información varia sobre el movimiento del material, rendimiento de los obreros y la maquinaria y absentismo laboral. La ficha de entrada de un obrero puede imprimirse con un código interpretable por el ordenador, como las barras del Código Universal de Productos, para que las horas de trabajo medidas por el reloj se asignen automáticamente a su hoja salarial. Pueden clasificarse de manera similar los papeles que acompañan un asunto a través de varias etapas del proceso, o se puede hacer lo propio con el producto. Puede introducirse en el ordenador mensajes escritos a máquina, que llegarían así a toda la fábrica. La información permite a la dirección determinar si una pieza está fabricándose según lo previsto y, si no es así, decidir las medidas a tomar. La retroalimentación no tiene por qué registrarse inmediatamente en el ordenador; en la mayoría de las circunstancias basta una actualización una o dos veces al día.

Entre los mayores beneficios que un sistema de planificación de recursos de fabricación y su control reporta a la empresa se debe citar el que le permite responder rápidamente a los cambios del mercado. Antes de la introducción de sistemas automáticos de planificación, la respuesta ante los cambios de prioridades competía al "celador" y su misión recaía normalmente en el jefe o capataz de taller. Por tanto, cuando se instalan sistemas de este tipo, el capataz puede volver a su función de dirigir el trabajo de un grupo de operarios, sin perder el tiempo en subsanar la falta de piezas, encargar reparaciones de máquinas y conducir la última entrada de alta prioridad a través de la línea de producción.

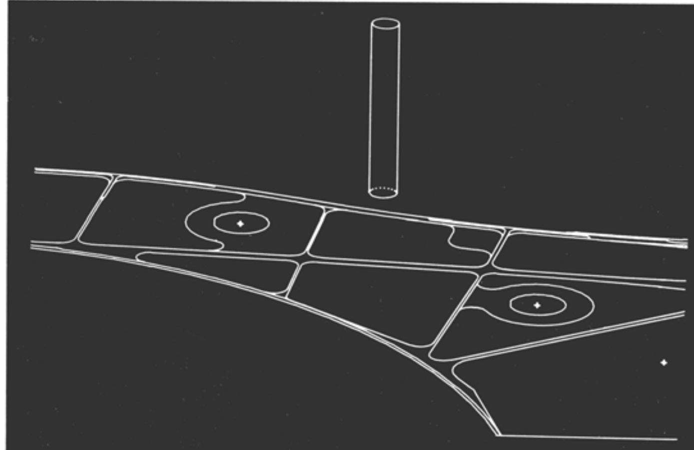
Aunque me he detenido en los cambios en la organización de la empresa, no olvidemos que la mecanización de las operaciones que se desarrollan en la planta de la fábrica sigue su curso. La tecnología de procesamiento de datos puede aplicarse al control de tres tipos generales de máquinas: las que almacenan, las que elaboran los materiales y los robots.

Los sistemas de almacenamiento y recuperación automáticos transfieren material a estanterías de hasta 30 metros de altura y los sacan según convenga. Sistemas más pequeños, llamados "minicargadores", guardan en cajones

*1a*



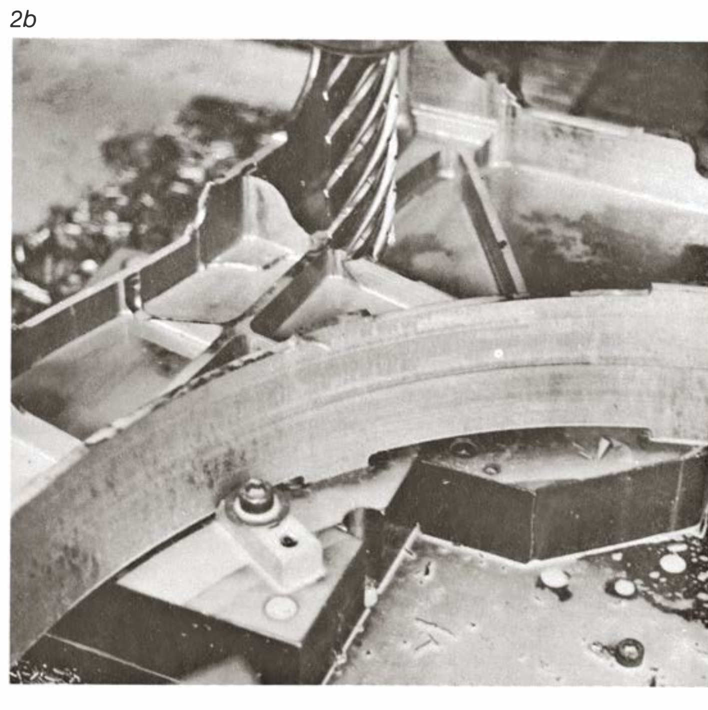
*2a*

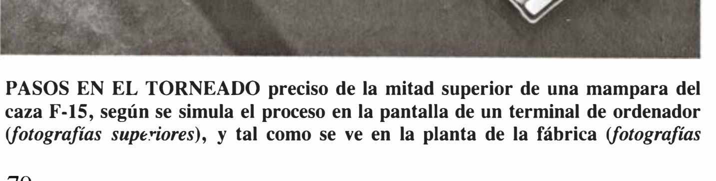


*1b*



*2b*



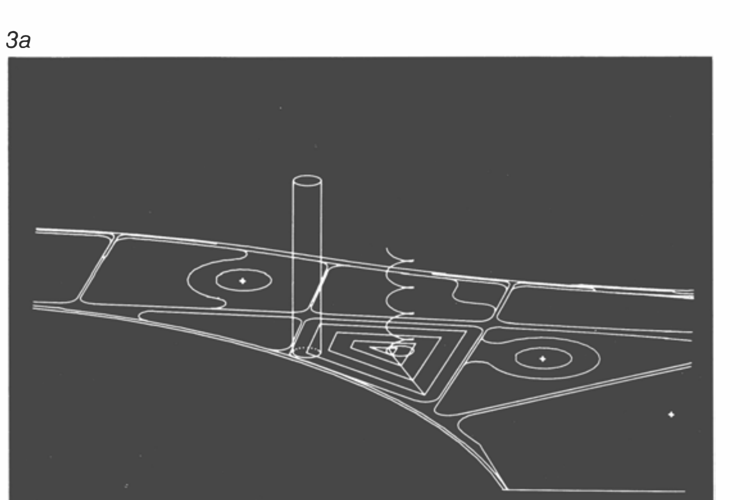

**PASOS EN EL TORNEADO preciso de la mitad superior de una mampara del caza F-15, según se simula el proceso en la pantalla de un terminal de ordenador (*fotografías superiores*), y tal como se ve en la planta de la fábrica (*fotografías inferiores*). La forma y las dimensiones de la pieza final, introducidas en el ordenador por el proyectista (*1a*), son datos de entrada para un programador, que especifica el trayecto de una herramienta cortante**

las piezas más pequeñas. En ambos casos puede escogerse una pieza por su número o por su situación; automáticamente actúa una lanzadera que la recupera. Un sistema tal es un almacén automático, donde la lanzadera asume el papel de la carretilla y su operador humano. De manera similar, sistemas automáticos de vehículos dirigidos reemplazan transportadores y elevadores que acarrean la mercancía de un punto a otro del almacén y por toda la fábrica. Los coches sin conductor pueden guiarse por señales enviadas a través de un cable empotrado en el suelo.

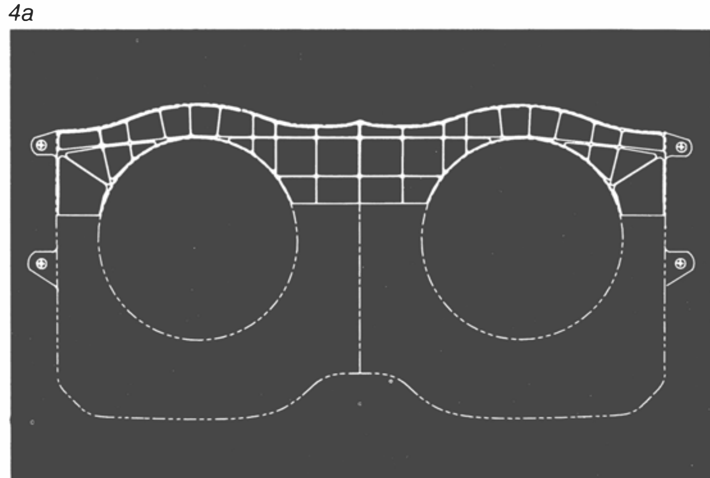
Las primeras herramientas mecánicas controladas numéricamente se programaban con una cinta de papel perforada. Cada instrucción que se daba a la máquina se representaba a través de una disposición de agujeros en la cinta; la disposición se decodificaba con un lector mecánico u óptico conectado a la herramienta. En la mayoría de los casos, se ha sustituido el codificador de cintas por un pequeño ordenador digital montado en la máquina. Una moderna herramienta controlada numéricamente por ordenador puede alcanzar el tamaño de una casita, e incorporar una cabeza cortante capaz de movimiento independiente alrededor de varios ejes al mismo tiempo; el control por ordenador permite a la máquina cortar el metal automáticamente hasta tolerancias de 0,025 milímetros. El programa evita que la máquina corte a demasiada profundidad y estropee la pieza; cuando los sensores señalan que el par de torsión necesario para el corte está fuera del margen de valores aceptable, indica al operador que cambie o afile la herramienta.

Cuando varias herramientas mecánicas controladas numéricamente por ordenador están unidas por una jerarquía de ordenadores, se habla de herramientas mecánicas de control numérico directo. En general, cada máquina está controlada por un microordenador; varias, enlazadas por un miniordenador, y un grupo de miniordenadores, subordinados, a su vez, a un ordenador principal. Los programas para la elaboración de cada pieza que fabrica la compañía se almacenan en un archivo central de datos; del ordenador principal se transfieren a cualquiera de las herramientas mecánicas de la red. Además, la información acerca del estado de cada máquina, volumen de su producción y calidad de las piezas acabadas cursa

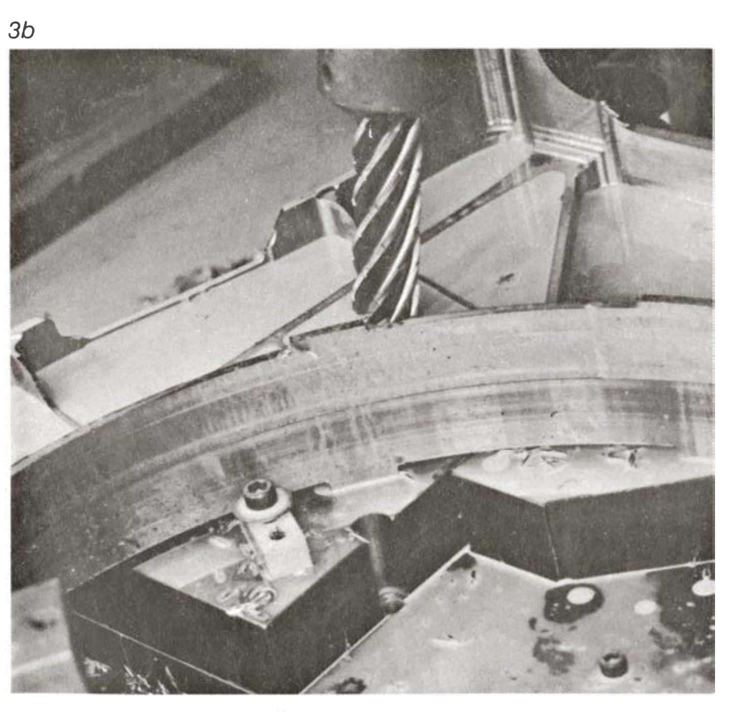
3a



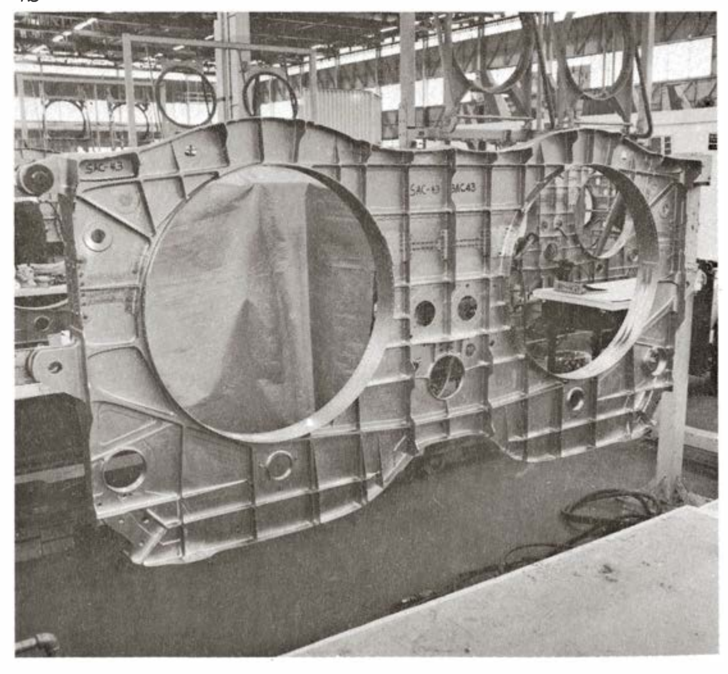
4a



3b



4b



**sobre una pieza fundida (*1b*). La herramienta cortante se sitúa sobre la pieza (*2a, 2b*), donde penetra en una trayectoria espiral; corta entonces una región cada vez más ancha de la pieza (*3a, 3b*). La operación del torno está controlada por el programa del ordenador. Hay tres cabezas cortantes montadas en paralelo, de forma que pueden tornearse tres mamparas a la vez. La pieza se une a otra pieza similar para crear la mampara completa (*4a, 4b*).**

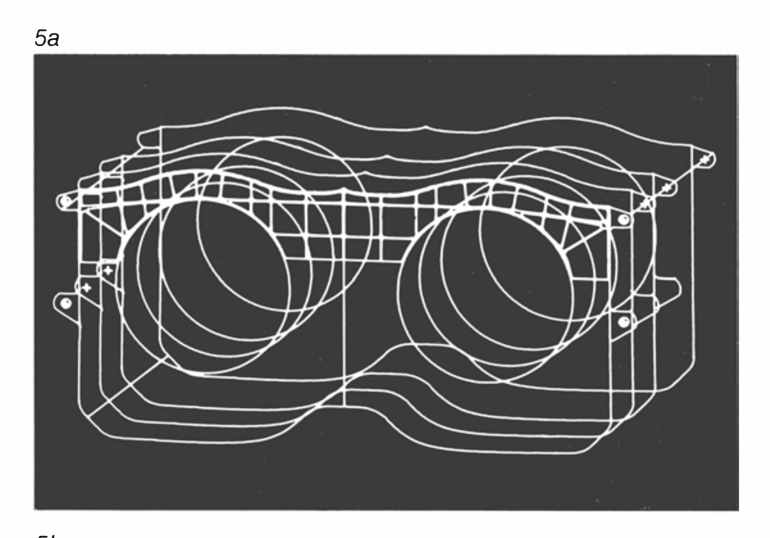
hacia el ordenador principal desde los controles periféricos. Se pueden conectar hasta 100 herramientas mecánicas en esta jerarquía.

En un sistema de control numérico directo sólo hay conexión electrónica entre las herramientas; pero se debe trasladar a mano la pieza de una máquina a la siguiente. Si se conectan máquinas con control numérico directo mediante un sistema de manejo de materiales y el ordenador principal está programado para operar las herramientas en una secuencia específica, se conforma lo que ha dado en llamarse sistema flexible de fabricación. En él, se seleccionan con tecnología de grupo familias de piezas para la maquinación. Una vez situado en su lugar un conjunto de piezas, éstas pasan automáticamente de herramienta en herramienta, a través de las cuales se las trabaja en la secuencia apropiada. El sistema completo puede necesitar tan sólo una carga y descarga diarias; ha de haber alguien que se encargue de supervisar la operación del sistema durante el día. Además, la proporción de tiempo de trabajo que pasa la máquina cortando metal puede llegar, con un sistema flexible de manufacturación, del 50 al 90 por ciento; con una herramienta mecánica controlada numéricamente por computador, el tiempo de corte supone sólo del 10 al 30 por ciento del tiempo total de un turno.

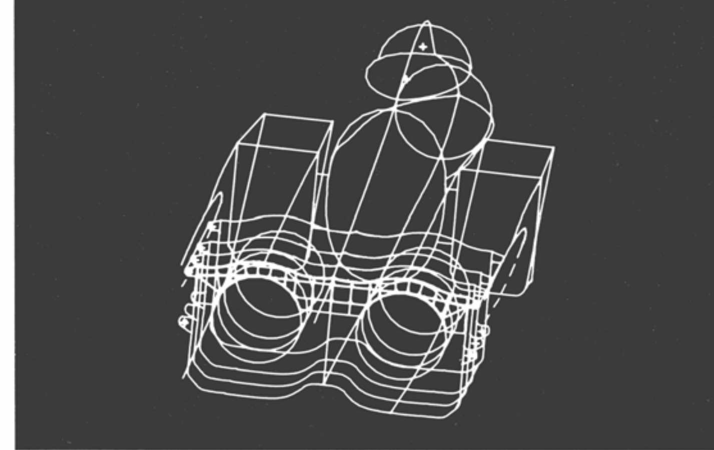
Cuanto más alto sea el nivel de integración entre las máquinas, mayor será la necesidad de algún tipo de inspección automática de los productos. El trabajador que maneja una herramienta mecánica, si nota un defecto, para el trabajo inmediatamente; pero una máquina de funcionamiento automático podría, por culpa de un fallo mecánico o un error de programación, arruinar un lote completo de piezas. Se puede utilizar información de varios aparatos sensoriales para aceptar o rechazar piezas individuales. La información sirve también para construir una base de datos estadísticos. El sumario estadístico es imprescindible en ciertas industrias, como las farmacéuticas o aeronáuticas, y la realimentación estadística permite al ordenador que controla cada máquina un ajuste de la herramienta durante la producción.

Un sistema de fabricación que se convirtió en ejemplo de lo que debiera ser el trabajo de una o varias naves es la línea de montaje. La línea de montaje no es necesariamente un sistema meca-

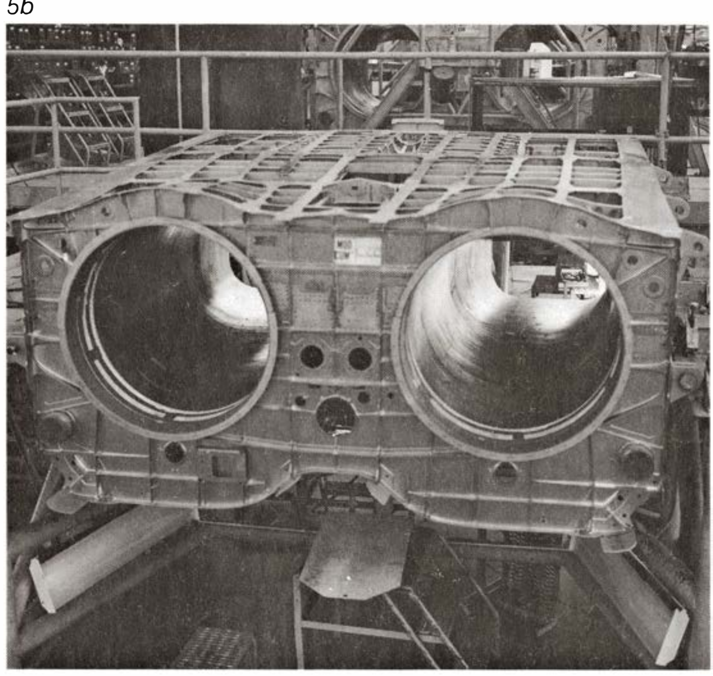
*5a*



*6a*



*5b*



*6b*



**MONTAJE DEL FUSELAJE DEL F-15. No está aún automatizado, pero sus etapas pueden planificarse en la pantalla de un terminal de ordenador. En las fotografías superiores se ven etapas sucesivas del montaje según aparecen en la pantalla: en las fotografías inferiores se desarrollan las etapas correspondientes en la planta de montaje. La mampara se ajusta primero a otras tres similares para formar la parte central del avión (*5a, 5b*); la**

nizado. Se trata de un método para organizar el trabajo aplicable tanto a los obreros como a las máquinas. Se siguen montando muchos productos a mano, efectuando cada trabajador un pequeño paso del proceso y pasando la pieza al siguiente.

Para los productos hechos en grandes cantidades, el proceso de montaje puede automatizarse por entero, construyendo una máquina de un solo menester. El proyecto y la construcción de este tipo de máquinas constituye un arte altamente desarrollado que utiliza varios medios ingeniosos para orientar las piezas, ajustarlas y ensamblarlas. En la mayoría de los casos, el diseño de la mercancía en cuestión se modifica para facilitar el ensamblaje automático. La principal desventaja que rodea a este tipo de "destino fijo" es su falta de versatilidad: una máquina para ensamblar plumas estilográficas no puede adaptarse para la producción de bolígrafos cuando cambia la demanda del mercado.

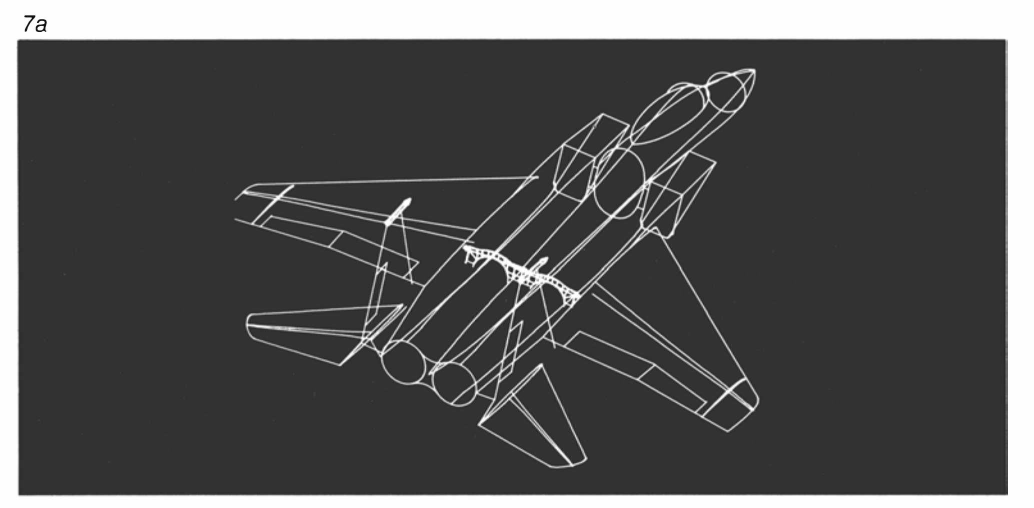
El robot, una máquina programable capaz de transportar materiales y realizar faenas repetitivas, está empezando a rentabilizar el montaje automático en aplicaciones de un volumen menor. En ciertos casos, el robot sustituye al hombre en labores rutinarias, la carga de mercancías por ejemplo. En otros, un sistema de robots ofrece una alternativa más flexible (y más lenta) a la programación fija.

La principal dificultad con que nos encontramos en el uso de robots para el montaje es su actual incapacidad de seleccionar una pieza colocada aleatoriamente en un cubo. Pero si la orientación de la pieza se conserva en todas las etapas del proceso de ensamblaje, el robot puede competir económicamente con otras máquinas. Entre las aplicaciones más importantes de los robots destacan la de carga y descarga de herramientas mecánicas. Otra, su servicio en trabajos sucios, peligrosos, desagradables o monótonos. Entre 5000 y 7000 robots utiliza hoy la industria norteamericana para soldar, pintar con pulverizadores, cargar y descargar máquinas y ciertas operaciones de montaje. En el Japón, la población de robots alcanza la cifra de 80.000, pero la Japan Industrial Robot Association acepta una definición más amplia de robot, que engloba simples manipuladores mecánicos con finales de carrera que no se considerarían robots en otras partes.

Aunque los robots y las herramientas mecánicas de control numérico por ordenadores comparten la característica de su programación, los primeros suelen ser mucho menores y de fácil desplazamiento. En muchos casos, además, el robot se programa de forma analógica, es decir, poniéndole en el punto de "enseñar" y moviéndole el brazo exactamente como lo exige el trabajo. Así, muchos robots actúan como aparatos de registro y repetición que simulan movimientos humanos, aunque también se pueden programar con un conjunto de instrucciones codificadas en un lenguaje de ordenador de alto nivel. Su principal ventaja sobre los trabajadores humanos reside en la constancia de su actuación. Raramente son más rápidos que el hombre, pero no se cansan nunca y nos ganan en fiabilidad.

La integración de las seis grandes áreas de tecnología de fabricación –diseño, tecnología de grupo, planificación de recursos de manufacturación, manejo de materiales, máquinas de proceso de manufacturación y robots– depende de una jerarquía, cuidadosamente diseñada, de flujo de información. La unión de las seis áreas se realiza a través de un sistema de procesamiento centralizado; hay también muchos tipos de información en cada área que no tienen por qué archivarse centralmente. El vertiginoso crecimiento de los componentes microelectrónicos y la reducción del coste de almacenar y manipular información, a lo largo de los últimos 10 o 15 años, ha posibilitado un procesamiento de datos distribuido o descentralizado. Al igual que en otros sectores de la economía, la de la fabricación tiende hoy a dispersar potentes mini- y microordenadores para los tra-

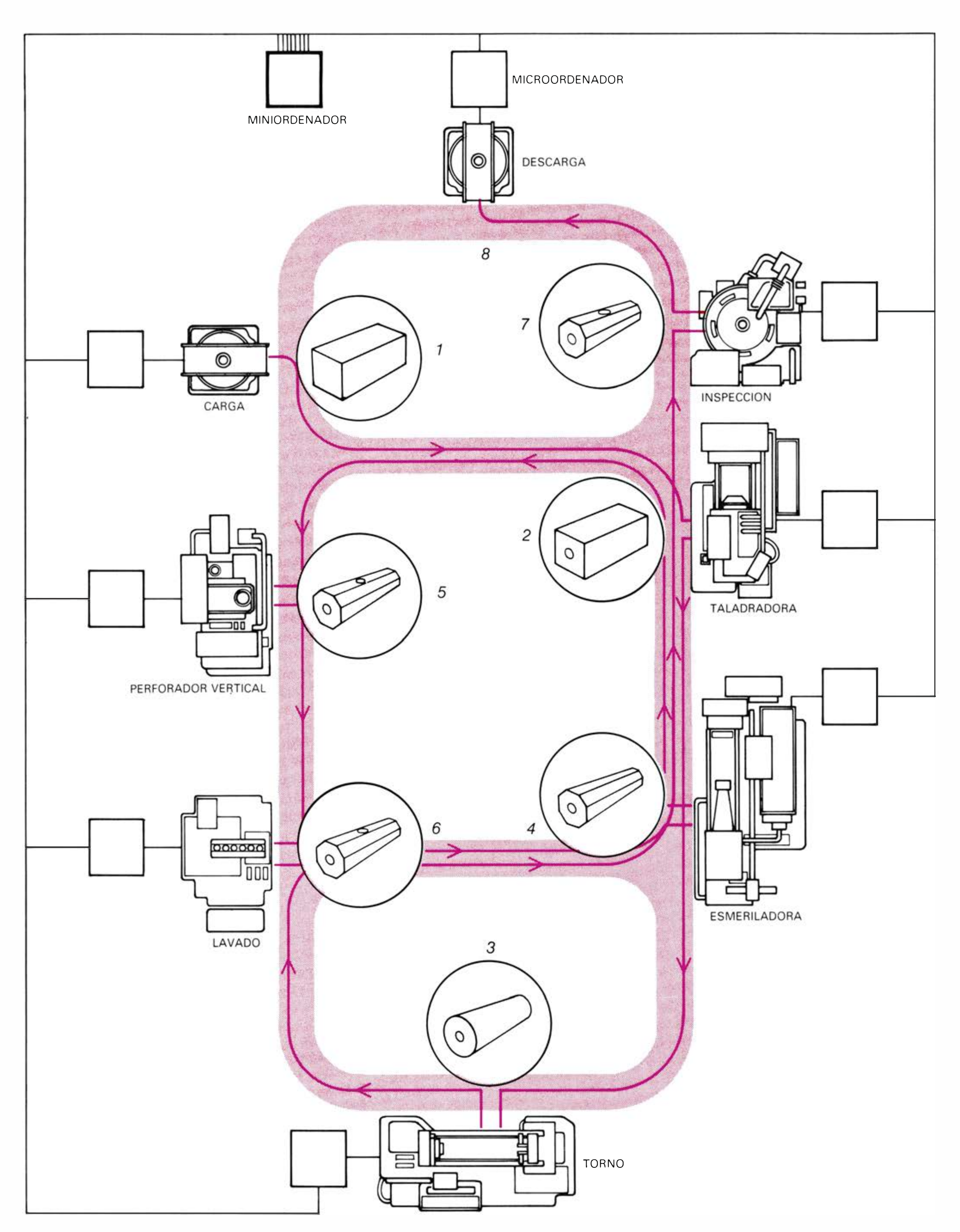
*7a*



*7b*



**sección delantera se acopla a ésta (*6a, 6b*) y, finalmente, se añaden las alas y la sección de la cola del avión (*7a, 7b*). Los motores de turbina se instalan en una etapa posterior del montaje. La simulación del montaje con el ordenador ofrece la ventaja de que el proyectista ve inmediatamente si los componentes ajustarán.**




**SISTEMA FLEXIBLE DE FABRICACION**, un conjunto automatizado de herramientas mecánicas programables para trabajar en metal. Las máquinas están controladas por una jerarquía de ordenadores y están unidas por una cinta transportadora que lleva las piezas de una máquina a la siguiente. El miniordenador determina la secuencia de operaciones a efectuar sobre cada pieza. Cuando ésta llega a una máquina, el miniordenador manda a la máquina que escoja una herramienta de corte y "vacía" un programa a un microordenador que controla la trayectoria de corte de la herramienta. Se han construido ya sistemas de fabricación flexible que pueden funcionar sin intervención durante horas. Las piezas se cargan en la entrada del sistema durante el primer turno; el sistema opera a lo largo de los turnos segundo y tercero. Un sistema de este tipo produce 100 piezas rotativas cualesquiera en 72 horas.

bajadores, responsabilizando a cada empleado de la entrada de datos y control del proceso. Los ordenadores pueden conectarse entonces entre sí y con la base central de datos de la compañía mediante líneas telefónicas u otras redes de telecomunicación.

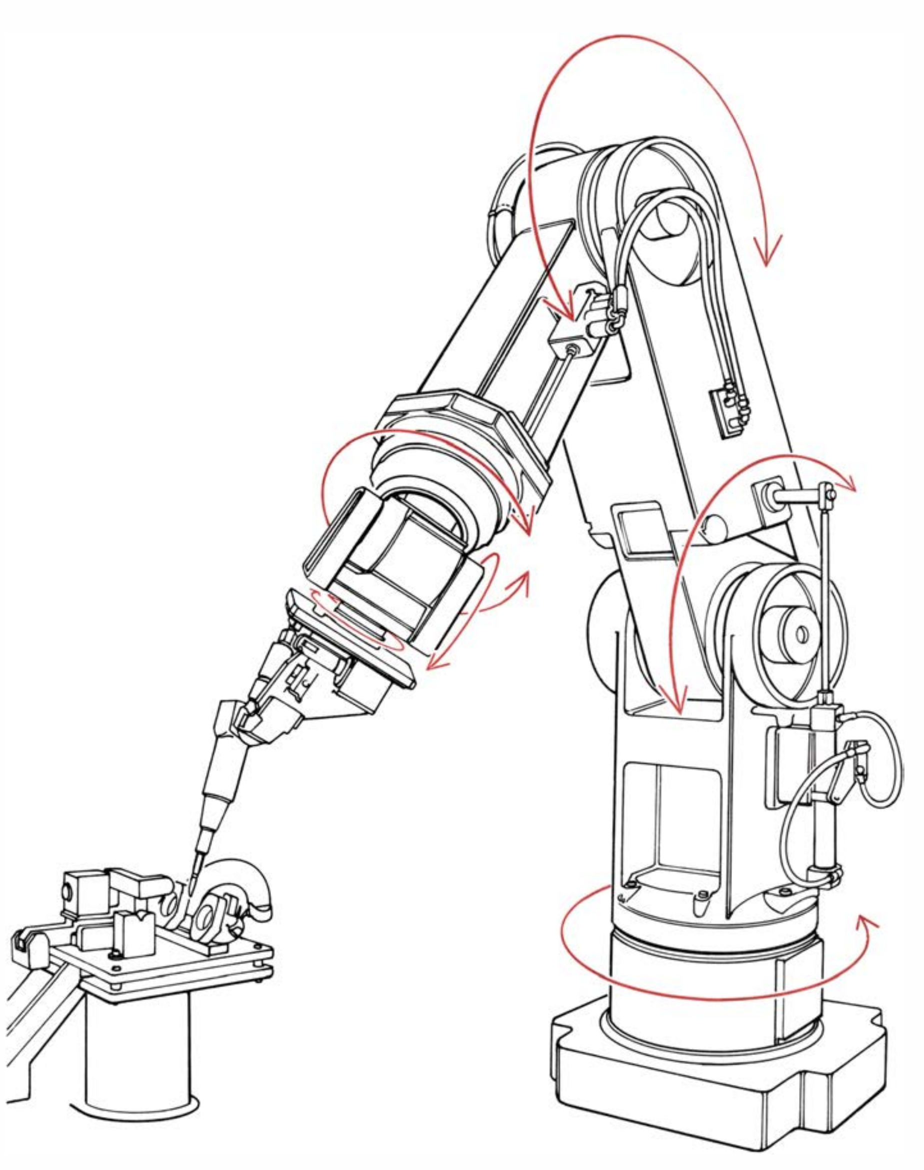
Consideradas las posibilidades de la tecnología actual, nos es dado imaginar con cierto detalle cómo operaría una fábrica si las seis áreas en cuestión se conectaran en módulos interdependientes. La planta se dividiría en células definidas por sus funciones en la fabricación; por ejemplo: una célula de diseño, una célula de soldar y una célula de montaje. Docenas de robots se conectarían por una jerarquía de ordenadores, de forma similar a como lo están hoy las herramientas mecánicas de control numérico directo. La realimentación de las máquinas y del personal de la fábrica a los sistemas de control de producción sería inmediata, y, así, el flujo previsto de productos a través de la fábrica podría ajustarse continuamente para reflejar los cambios de las condiciones de la operación. El diseño de la planta valoraría la flexibilidad, de manera que pudieran elaborarse distintos productos con las mismas máquinas; las mercancías se podrían elaborar unitariamente.

De las comunicaciones entre la fábrica y sus clientes, proveedores y contratistas externos más importantes se ocuparían directamente los ordenadores de las diferentes organizaciones. Los planos, por ejemplo, no se suministrarían al contratista; pasarían electrónicamente a su ordenador los datos geométricos y programas de herramientas mecánicas necesarios para dar forma a una pieza. De manera similar, los pedidos de un cliente o un proveedor importante se transmitirían electrónicamente. Dentro de la compañía, las divisiones internacionales estarían interconectadas mediante un sistema de comunicaciones por satélite.

El tamaño de una fábrica suele ser limitado; las plantillas no acostumbran a superar los 500 empleados. Para la elaboración de algunos tipos de productos, la magnitud de una planta podría reducirse hasta 5 trabajadores. La Yamazaki Machinery Corporation de Florence, Kentucky, está instalando una planta para fabricar piezas de herramientas mecánicas donde trabajarán sólo cinco personas en el primer turno, una en el segundo y otra en el tercero. Este tipo de plantas crearía un ambiente de trabajo más humano; los esfuerzos se orientarían allí hacia la producción de unas cuantas familias de productos. Ninguna planta individual, sin embargo, tendría una influencia decisiva en las directrices o salud financiera de la compañía.

La reducción en el número de obreros de taller persistirá probablemente a medida que se instalen robots y sistemas flexibles de producción. Otras tendencias que se aprecian en los procesos de la fabricación afectarán también a expertos y personal cualificado. Los administrativos tendrán que adquirir los conocimientos necesarios para dominar la nueva tecnología; los propios ingenieros se verán obligados a mantener su preparación al día. Es probable que los centros corporativos de proyectos sigan prefiriendo las ciudades con grandes institutos de enseñanza, como los de Boston y San Francisco, en los Estados Unidos. Las empresas dedicadas a los servicios de ingeniería, verosímilmente, se establecerán cerca de esas mismas ciudades.

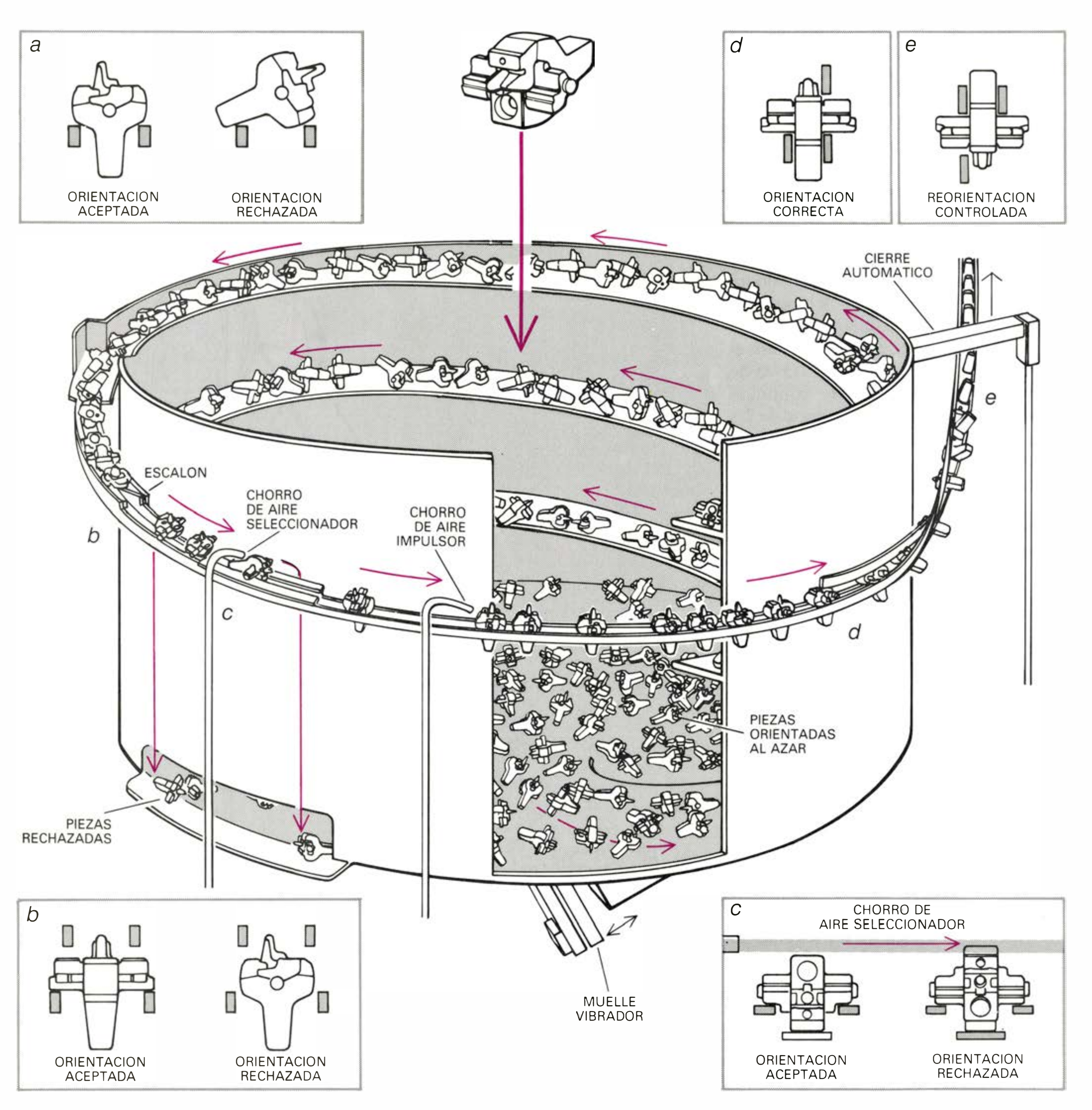
Ante las innegables convulsiones que la tecnología de los procesos de información origina en la clase trabajadora y su alto coste, ¿por qué seguimos abocados a la implantación de esas innova-



**BRAZO DE ROBOT** capaz de ejecutar movimientos alrededor de seis ejes. Es una máquina no empotrada que se programa analógicamente. Un operador "enseña" al robot una secuencia tridimensional de movimientos desplazando el extremo del brazo a través de una secuencia de posiciones y de orientaciones. El robot archiva las maniobras en la memoria de un ordenador y las repite tantas veces cuantas se le ordene. Al extremo del brazo se le puede acoplar un aparato que agarre, u otra herramienta, como un pulverizador de pintura o un par de electrodos para soldar. Se representa el robot con una herramienta abrasiva giradora para desbastado de fundición. El aquí dibujado carece de sensores, pero hay robots dotados de aparatos que captan el par de torsión, la fuerza de agarre, el campo visual y otras características del ambiente. No se ha logrado aún que los robots escojan una pieza orientada al azar en un recipiente con piezas similares. Así, a menos que se coloque la pieza adecuadamente antes de que el ingenio llegue a ella, está limitada su adaptabilidad para ensamblar productos y otras tareas que requieran una orientación determinada de las piezas. La figura muestra el robot vertical Type 80 fabricado por los Ateliers de Constructions Mécaniques et Automation (ACMA) de Beauchamp (Francia), subsidiaria de Renault.

ciones? A corto plazo, dice la opinión generalizada, los fabricantes tienen que competir en mercados mundiales. Los fabricantes que ven que la tecnología de información traerá la reducción de plantillas argumentan que, sin ella, no podrían competir y la plantilla entera quedaría en la calle.

La mecanización del diseño y de la fabricación promete una mayor productividad, superior calidad a un coste menor, un mejor servicio al cliente y flexibilidad para responder a las demandas de un número creciente de productos y opciones con ciclos de vida más cortos. En resumen, la tecnología de procesamiento de información continuará revolucionando la forma en que se trabaja en las fases de proyecto y elaboración. La información y la capacidad de transmitirla rápidamente se convertirán en recursos muy valiosos, de rango parecido al del dinero en el banco o las piezas en la estantería.




**ORIENTACION CORRECTA DE LAS PIEZAS, condición previa para el ensamblaje automático. Es uno de los procesos que plantea mayores dificultades de mecanización. Un alimentador vibrador realiza lo que no logra un robot: rechaza todas las orientaciones de una pieza que no se ajustan a la requerida para el ensamblaje automático. En la ilustración, un depósito con interruptores de codillo orientados al azar aparece sobre un sistema de muelles que le confieren una vibración vertical de 60 a 120 oscilaciones por segundo. Las vibraciones confieren un giro o momento al depósito que fuerza a los interruptores a "escalar" la rampa espiral de la cara interna del recipiente. En su extremo superior, la rampa desemboca en una guía de dos carriles; los interruptores mal encajados caen de la guía de nuevo al depósito. Siguen su camino los que tienen el extremo encajado entre los carriles. De las cuatro orientaciones posibles, sólo una es válida; la selección se efectúa en dos puntos. En el primero, una serie de escalones de los carriles eliminan dos de las orientaciones. En el segundo, el resto de los interruptores mal orientados caen impulsados por un chorro de aire. El ingenio puede suministrar interruptores bien orientados a las máquinas de ensamblaje a un ritmo de 2400 unidades por hora. Se construyen ya alimentadores vibratorios para orientar prácticamente cualquier pieza de pequeño tamaño; sin embargo, el rápido desgaste que provoca la vibración en piezas de más de 2 metros o 250 gramos desaconseja el uso de sistemas de tal precisión en esos casos. La máquina que se muestra pertenece a la Bodine Corporation de Bridgeport, Connecticut.**



# Mecanización del comercio

*Los servicios financieros, de transporte, de distribución y de comunicaciones se están mecanizando incluso más que los servicios de producción de bienes. Este proceso exigirá un alto nivel de preparación y adaptación de los trabajadores*

Martin L. Ernst

El comercio abarca todas las interacciones económicas que se producen entre los miembros de una sociedad. Requiere una constante información: sobre la mercancía, su precio y su utilidad. Las mismas formas actuales de pago obligan a que se transmita información entre las partes afectadas. Más aún, el almacenamiento y transporte de mercancías reclama diversos registros detallados: programaciones y manifiestos. De ahí que el comercio se haya apresurado a adoptar nueva tecnología para procesar tamaña información.

Las tablillas de arcilla encontradas en Oriente Medio suministraron importantes pruebas de que la escritura tuvo su origen en el registro de las transacciones comerciales. Más recientemente, la historia de las ventas de ordenadores muestra que el extenso empleo empresarial de los mismos debióse a sus aplicaciones comerciales.

Hoy en día, cuando el personal empleado en el comercio supone más del 35 por ciento de la fuerza laboral en los Estados Unidos de América, la nueva tecnología electrónica domina la mecanización de las instituciones financieras. La tecnología no electrónica desempeña un mayor papel en otros sectores comerciales. Además de lo expuesto, existen otras razones que ayudan a comprender la mecanización del comercio: cómo nace, cómo se ejecuta y sus probables impactos. Aquí daré una serie de ejemplos para ilustrarlos. Los ejemplos provienen de cuatro sectores: financiero, transportes, distribución de los productos y, finalmente, comunicaciones.

Una primera razón hace referencia al papel del gobierno en el comercio. Tradicionalmente, los gobiernos se han reservado algunas funciones comerciales o tomado parte en otras. Una fracción muy importante del éxito de las ciudades-estado, y posteriormente de las naciones, estuvo en las monedas bien acuñadas, en los pesos y medidas honestos, en la buena conservación de puertos y carreteras y en un sistema judicial equitativo. Por ello, la mayor parte del mundo de las finanzas, los transportes y las comunicaciones ha sido objeto de considerable regulación en los Estados Unidos, y el servicio de correos de primera clase lo desarrolla el gobierno con carácter exclusivo. En muchos países, estas actividades las desempeñan en régimen de monopolio organizaciones de los gobiernos; y en virtualmente todos los países, una gran parte de la estructura legal se dedica a códigos que contemplan las transacciones comerciales. En consecuencia, la intervención de los gobiernos ha incidido inevitablemente en la adopción de la nueva tecnología en el comercio, unas veces impulsándola y, otras, retardando su aplicación. Las bases que regulen un sector o los subsidios que se establezcan en su caso constituirán incentivos que favorecerán la rápida introducción de unas aplicaciones tecnológicas o el retraso de otras.

Un segundo considerando es la necesidad casi universal de interacción entre las partes independientes que intervienen en el comercio. Los bancos deben cooperar los unos con los otros; más aún, han de tener un considerable grado de uniformidad en sus procedimientos si se quiere que los cheques sean un modo útil de pagar las cuentas. Compañías de transportes, mayoristas y almacenistas deben coordinarse para asegurar que el flujo de bienes vaya desde las fábricas hasta las tiendas. Los propios servicios que ocupan una posición dominante en el campo de las comunicaciones, como el servicio postal, dependen de otros para llevar a cabo partes significativas de su función total. El servicio de correos, por ejemplo, depende de las líneas aéreas y de los fabricantes de máquinas clasificadoras. La necesidad de colaboración limita con frecuencia las posibilidades de elección entre las tecnologías disponibles. Muchas veces el camino hacia la mecanización sólo se puede recorrer cuando se han alcanzado acuerdos de base dentro de un sector o entre los diversos existentes, y este requisito puede dictar el sendero y la naturaleza del cambio.

A la luz de este segundo considerando, el tercero resulta irónico. Muchas de las más impresionantes mecanizaciones del comercio provienen de modestos ingenios. Otras se han basado en nuevos diseños de modelos convencionales. A menudo, son máquinas que se han venido utilizando durante largos períodos en otros sectores económicos.

Dentro del sector financiero, los bancos ofrecen la más amplia oportunidad de examinar la naturaleza y el impacto de la mecanización. Una buena forma de comenzar es con un artículo familiar: los cheques que los ciudadanos y las empresas utilizan para pagar y cobrar. Ofrecidos por unos 14.000 bancos comerciales, los cheques y su procesamiento han supuesto siempre el empleo de muchas horas de mano de obra, y constituyen, por tanto, un objetivo obvio para la mecanización.

Independientemente de dónde se cobre el cheque, el librador del mismo debe ser informado de su pago e incidentes a través de un banco. El camino para que le llegue la información es a veces largo. La mecanización de este

**EN EL TRANSPORTE MARITIMO de contenedores vemos ilustrada la aplicación de una tecnología antigua y sencilla en la mecanización moderna del comercio. Los contenedores aparecen en formación en un muelle de Port Elizabeth, Nueva Jersey. Su longitud suele ser de unos 6 metros y transportan una carga de 8,5 a 11 toneladas. El barco es el Neptune Diamond, que cubre una ruta de cinco puertos norteamericanos y otros cinco del lejano Oriente. Lleva un flete máximo de 2100 contenedores; una cuarta parte de ellos se descarga aquí y se reemplaza por otros durante una estancia de 30 horas.**

proceso comenzó ya hace años con la introducción de equipos electromecánicos de clasificación de cheques y máquinas de contabilidad. Posteriormente, el gobierno federal comenzó a troquelar todos sus cheques. Sin embargo, estos primeros pasos fueron muy modestos. El reconocimiento de caracteres en tinta magnética (RCTM), caracteres con los que se codificaban todos los cheques, fue el comienzo del nuevo procesamiento de los mismos. Máquinas lectoras identifican la cuenta contra la que se libra el cheque y el banco donde está abierta. El procesamiento se completa cuando los números que identifican la cuenta de abono y el banco correspondiente se registran por el banco en el que por primera vez se deposita el cheque, imprimiendo y codificando su valor.

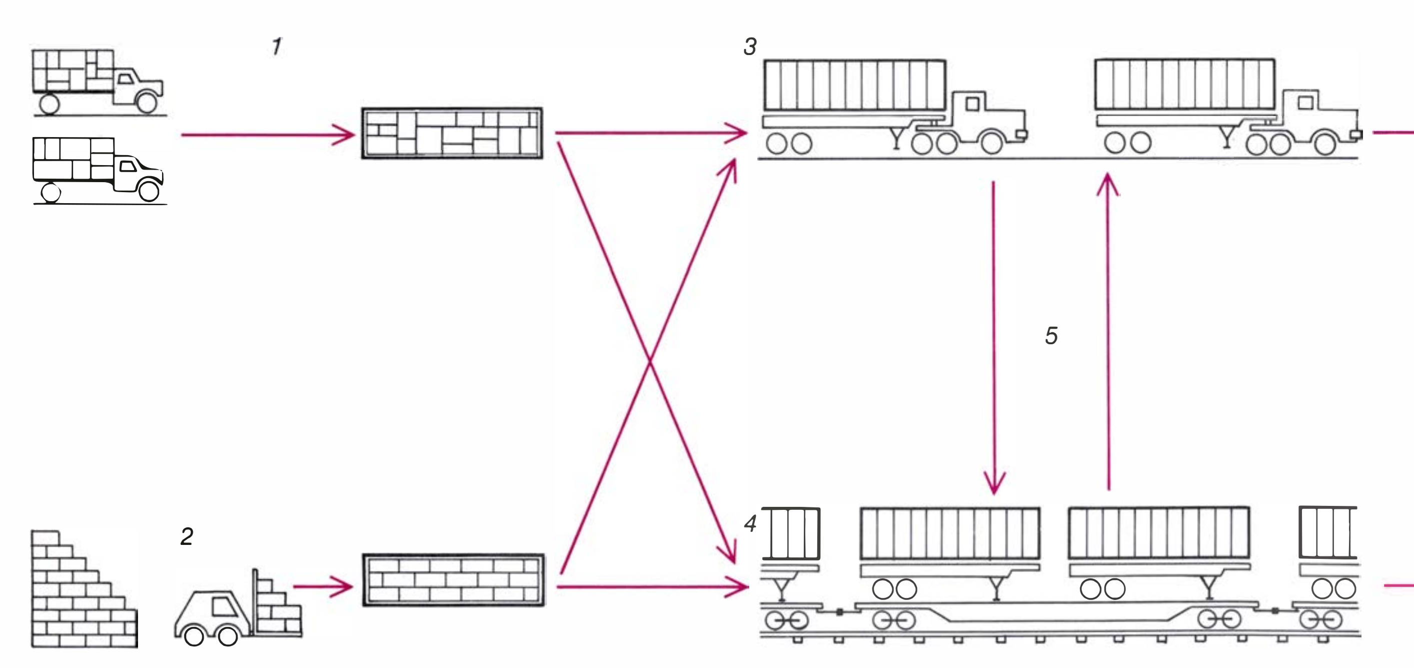
La introducción del reconocimiento de caracteres en tinta magnética llevó casi 15 años. Comenzó, al iniciarse los años 50, a través de una serie de estudios patrocinados por varias asociaciones de bancos y el Federal Reserve System. En 1958 se establecieron normas de codificación, posición de los códigos en los cheques, tinta válida y otros requisitos similares. Tuvieron que pasar otros 10 años para que prácticamente todos los bancos emplearan el RCTM; para 1963, los bancos más importantes, que fueron líderes en la aplicación de estas técnicas, codificaban ya el 85 por ciento de sus cheques con el sistema RCTM. Este proceso ilustra el tiempo que se tarda en normalizar cambios, aun cuando éstos parezcan simples, si han de ponerse de acuerdo varias organizaciones.

La oleada de máquinas lectoras de caracteres en tinta magnética aceleró el desarrollo de registradoras electrónicas de datos para casi todo tipo de cuentas. Los beneficios de la mecanización de los registros de las cuentas se extendieron rápidamente a otras operaciones bancarias. A principios de los 60 se introdujo el equipo informático que permitía dar inmediata noticia de la situación de una cuenta y acelerar la anotación de las transacciones. Más recientemente, la existencia de registros computarizados ha facilitado el desarrollo de los cajeros automáticos (CA). Estos son cada día más populares; operaciones como reintegros o transferencias entre cuentas de un solo banco se pueden hacer ahora a cualquier hora del día, sin tener que esperar a la jornada laboral de los bancos.

Los cajeros automáticos ilustran una característica común a la mayor parte de la mecanización del comercio. En toda operación de un cajero automático el propio cliente teclea una serie de códigos que se introducen en un terminal; así proporciona al banco datos que pueden ser interpretados por una lectora. De hecho, está realizando una función para la cual el banco tenía antes que emplear a sus propios trabajadores. Esta forma de "compartir trabajos" es cada vez más popular. Se trata de una tendencia sostenida a lo largo de decenios; en los años 30, por ejemplo, el sírvase Vd. mismo en los supermercados comenzó a reemplazar a una de las funciones típicas de los tenderos.

Un paso lógico en la evolución del procesamiento del cheque será el que los pagos se puedan hacer desde la casa de cada cliente a través de un terminal instalado en su domicilio. Los terminales son técnicamente sencillos. Sin embargo, su instalación final espera que se cubran varias etapas todavía. Debe haber, en primer lugar, suficiente número de personas interesadas en mantener un terminal en su propia casa para que la realización del servicio resulte de interés económico. En segundo lugar, deben ponerse de acuerdo bancos y comerciantes sobre los pormenores del servicio, de tal forma que éste alcance cierto grado de universalidad. Finalmente, los consumidores deben tener razones para querer usar los terminales.

Potencialmente, existen incentivos para todos los participantes en tales sistemas. Contemplados en su totalidad, los costes del empleo de cheques no son pequeños. Por ejemplo, pagar una cuenta con un cheque viene a costar alrededor de las 100 pesetas. Los bancos incurren en algo más de la mitad de este costo. El resto se lo reparten entre los que hacen la prestación y los que realizan el gasto: documentación, impresión y envíos. Los costes resultan, sin embargo, casi invisibles para el cliente: se ocultan dentro de los costes totales del banco y de los servicios del comerciante. Teniendo en cuenta que la mayoría de la gente se siente a gusto rellenando cheques, muchos estarían poco dispuestos a cambiar de forma de pago, a menos que obtengan algún beneficio, bien sea en forma de ahorro,




**MOVIMIENTO DE CONTENEDORES para su transporte a través de una línea marítima transoceánica. Las mercancías que provienen de pequeños remitentes comparten su contenedor con otros productos a través de intermediarios especializados (*1*); la empresa que envía muchos bienes (*2*) no necesita esa mediación. Los contenedores se transportan por carretera (*3*) o por ferrocarril (*4*); se pueden organizar trenes especiales para transportar grupos de contenedores. A veces, los contenedores cambian de medio de transporte (*5*), lo que favorece el desarrollo de compañías transportistas que operen varias**

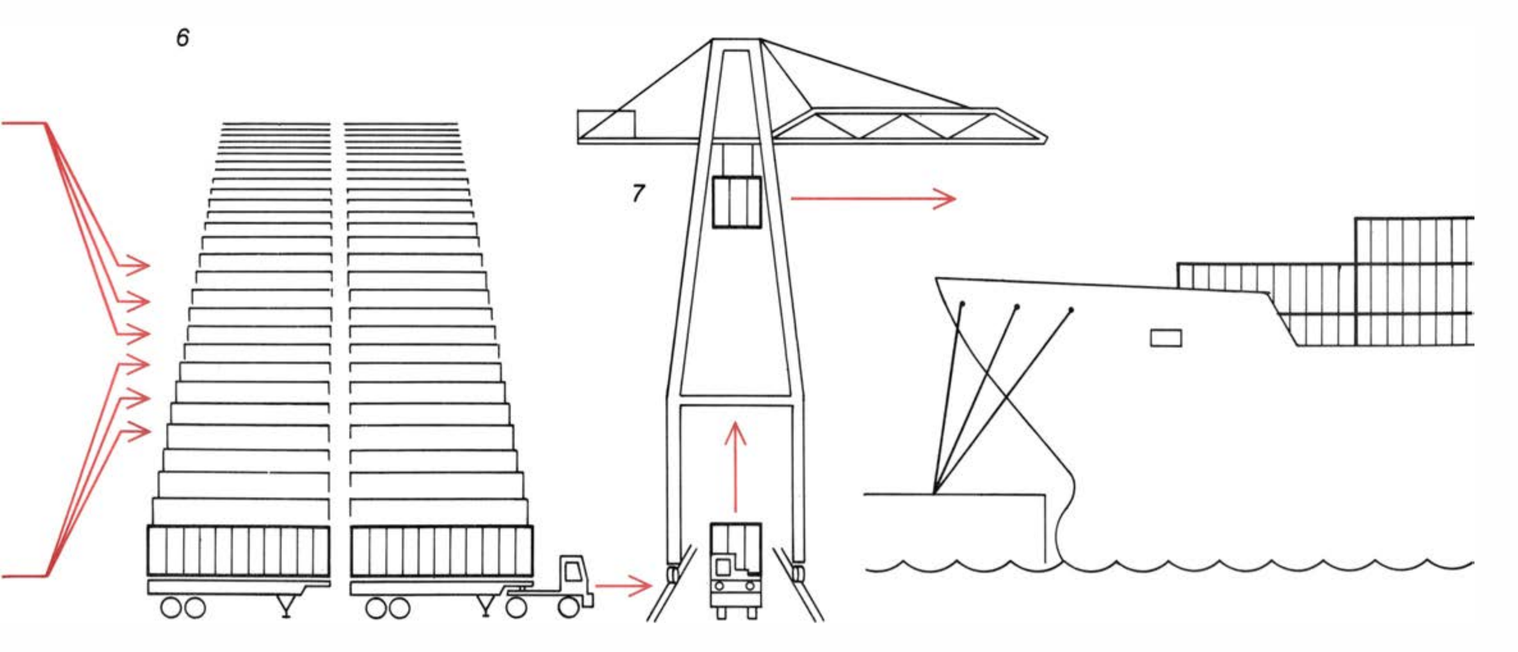
mayor comodidad o más servicio. La gente podría reclamar algún tipo de remuneración por el trabajo que desarrolla (en nombre de otros) cuando realizara operaciones electrónicas.

El servicio a los particulares constituye sólo una parte de las operaciones de los bancos; las relaciones con las empresas son tan importantes como el anterior tipo de operaciones. A este respecto, el deseo de las empresas de mejorar su situación de tesorería constituye un importante factor a favor de la mecanización. Como los tipos de interés han subido, han aumentado también los caminos en que un negocio puede ganar (o ahorrar) intereses en préstamos a corto plazo; mas para ganar o ahorrar intereses las empresas necesitan conocer con precisión su tesorería en cada momento y poderla mover rápida y económicamente. Para satisfacer estas necesidades se han desarrollado gran variedad de sistemas de terminales electrónicos que permiten a las empresas, y a otras organizaciones, comunicarse directamente con los ordenadores de los bancos. Por medio de estos terminales las empresas pueden seguir su estado de tesorería minuto a minuto y dar instrucciones para transferir el dinero donde les convenga.

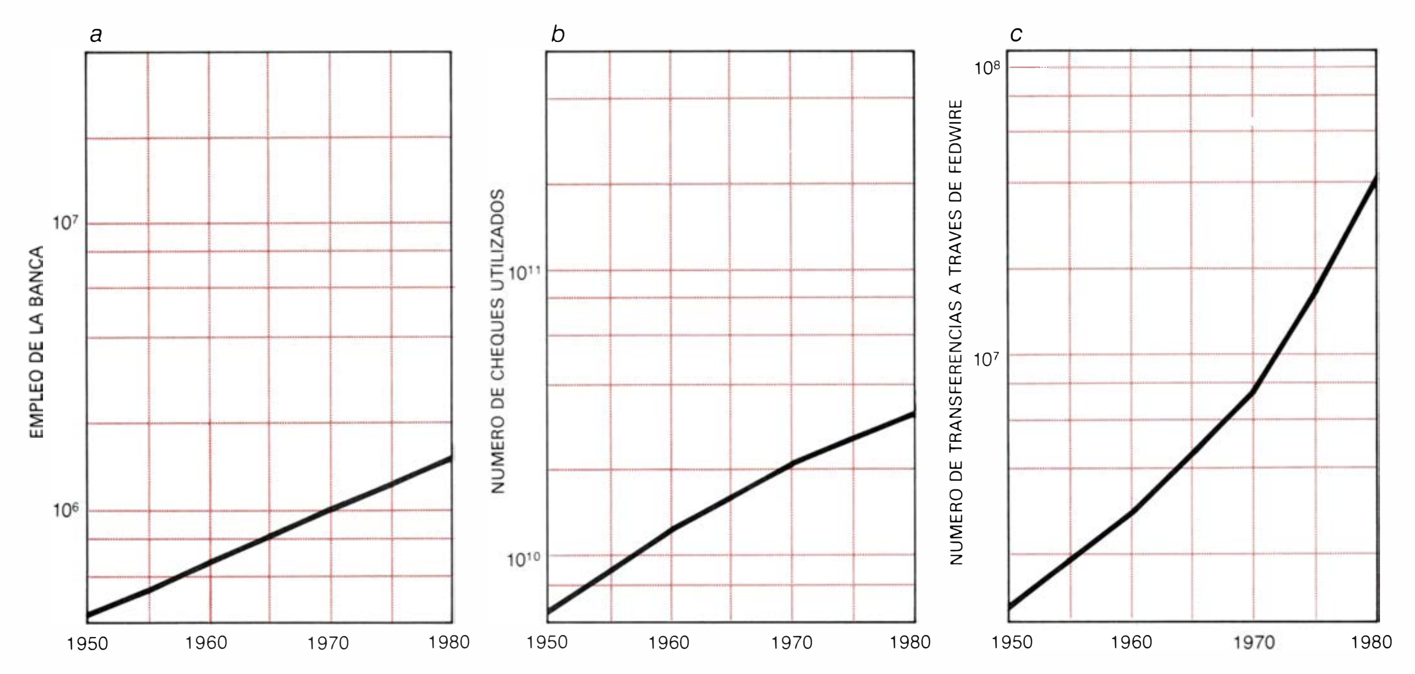
Para que el dinero se mueva con rapidez, los bancos, a su vez, deben estar interconectados a través de una red de telecomunicaciones electrónicas. FedWire es la red más antigua y más importante hoy en los Estados Unidos. FedWire, que nació en 1918 cuando el Federal Reserve System dio en arriendo un conjunto de líneas telegráficas, sirve para compensar las cuentas entre todos los bancos, cuentas que nacen como consecuencia del pago de los cheques y otras transacciones que los bancos procesan. Las compensaciones son definitivas, puesto que los pagos interbancarios realizados a través de FedWire están garantizados por el Federal Reserve System. Otros importantes sistemas telegráficos son CHIPS (Clearing House Interbank Payment System), que lo lleva la Asociación de Cámaras de Compensación de Nueva York; BankWire, que lo dirige un consorcio abierto de bancos norteamericanos, y SWIFT (Society of Worldwide Interbank Financial Telecommunication), que nació como un sistema internacional europeo, pero que ahora tiene muchos miembros americanos. Entre todos estos, CHIPS muestra el más fuerte ejemplo de crecimiento y utilización.

CHIPS se estableció en 1970. Reemplazó a un anterior sistema bajo el cual los cheques tenían que transportarse físicamente desde los más importantes bancos hasta la Cámara de Compensación de Nueva York, la cual facilitaba un instrumento para liquidar las cuentas interbancarias entre sus miembros. A medida que crecía el uso de los cheques, se hacía cada vez más difícil para los operarios de los bancos procesar todas las operaciones diarias con la seguridad de que los pagos a realizar (de los cuales el banco sería responsable) estarían adecuadamente cubiertos por los ingresos del día y los depósitos. El peligro estaba en que el sistema de pago por cheques perdería su conveniencia, o en que los operarios se verían obligados a confiar en su propio juicio para decidir si realizar o no los pagos. Al efectuar alguno de estos pagos podría ocurrir que los operarios de los bancos estuvieran concediendo importantes créditos sin ser autorizados, como correspondería en su caso, por los oficiales del banco.

El número de transacciones en el sistema CHIPS se ha multiplicado por veinte en los diez primeros años de funcionamiento total del sistema. Si hablamos de la cifra de transacciones (en dólares) el crecimiento ha sido aún mayor, y se aproxima a un 40 por ciento anual. El crecimiento de los flujos de dinero de las cuentas de las empresas ha subido tanto que cualquier miembro de CHIPS puede procesar diariamente una cantidad de dinero tal que suponga decenas de veces el valor del propio banco. Mientras tanto, y pensando en las necesidades de sus clientes, se han creado cámaras de compensación automáticas que realizan electrónicamente determinadas operaciones: depósito directo de cheques de pagos de nóminas en las cuentas de los empleados y pago de cantidades repetitivas, como las resultantes de préstamos hipotecarios para viviendas, alquileres y servicios diversos. En el caso del depósito directo, los datos de las nóminas se transmiten a una cámara de compensación que prepara la información al objeto de que a cada banco le lleguen los pagos de las nóminas domiciliadas en el mismo. Los depósitos directos están creciendo a un ritmo rápido, fuertemente impulsados por los pagos que los organismos de la




**modalidades. En el puerto (*6*), el contenedor recibe la atención de estibadores y agentes de aduanas; posteriormente un vehículo especial los lleva a la grúa (*7*), que los carga en el barco. Atrás queda la "cama de ruedas" que transportaba los contenedores. Gracias a los servicios de los computadores se envían contenedores vacíos allí donde se necesitan. Los ordenadores informan asimismo de la situación de los contenedores y a través del mundo de las telecomunicaciones transmiten al puerto de destino información de los manifiestos de carga para que se sepa qué carga llega, antes de que arribe el barco.**




**SEIS INDICADORES DEL CRECIMIENTO de los bancos en Estados Unidos, representados a escala logarítmica; tasas iguales de incremento de los indicadores se representan por líneas de idéntica pendiente. El empleo en el sector (*a*) se ha triplicado, de lejos, en 30 años y su porcentaje sobre el total de empleo civil más que duplicado. Se multiplicó casi por cinco el número de cheques (*b*) y por más de 30 el de transferencias interbancarias realizadas a**

administración pública y la Seguridad Social hacen a sus empleados; hasta el momento el pago de las empresas por este sistema está bastante menos generalizado.

Eclipsando todos estos cambios nos encontramos con el crecimiento de las tarjetas de crédito patrocinadas por los bancos. Los bancos se han mostrado un tanto remisos a popularizar las tarjetas. Algunos ofrecieron tarjetas en la década de los cincuenta y en el mismo decenio se desarrollaron sistemas regionales, pero hasta finales de los años sesenta no aparecieron los dos sistemas bancarios nacionales, muy conocidos: Bank Americard y Master Charge. Después, el crecimiento fue rápido y el sistema de la tarjeta sustituyó desde entoces a muchos créditos concedidos por comerciantes así como al pago en metálico a través de cheques.

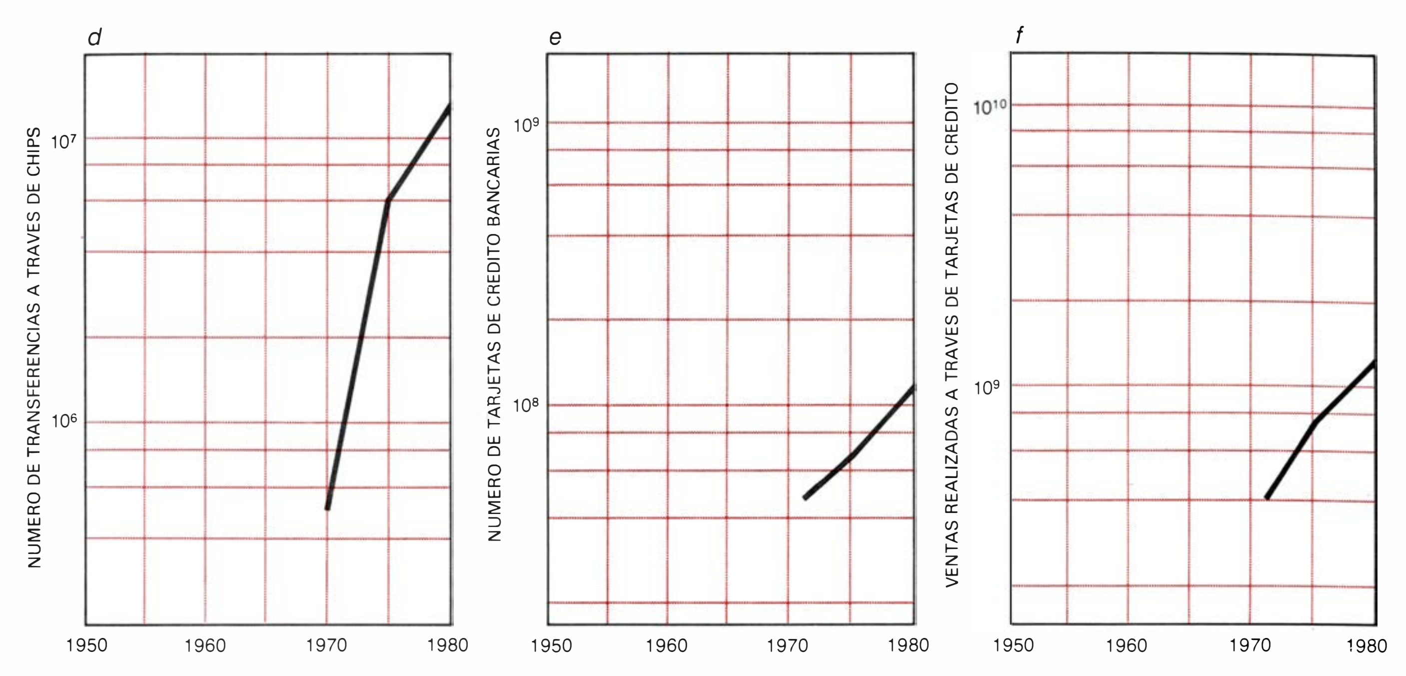
¿Qué ha significado todo esto para los bancos, sus clientes y la sociedad en general? En primera lugar, es claro que, sin la mecanización, muchos de los sistemas basados en el empleo de papel no hubieran podido con el crecimiento experimentado en el uso de los servicios bancarios en las dos últimas décadas. No sólo se hubieran incrementado enormemente los costes de la mano de obra, sino que también, teniendo en cuenta que las operaciones individuales requieren un examen cuidadoso y la consiguiente comprobación de saldos, el complejo manejo de los documentos hubiera hecho imposible llevar al día el fluir de las transacciones. El resultado hubiera sido, sin duda alguna, combinación de precios más altos, peor servicio y crecimiento limitado. Pero no fue así, y la productividad en el procesamiento del cheque probablemente se ha más que duplicado en el período 1960-1980. Casi con seguridad, el crecimiento en productividad atribuible a las redes telegráficas ha sido incluso mayor.

La mecanización ha contribuido de una forma muy sutil al cambio de la función bancaria. Como consecuencia de regulaciones centrales que restringen las actividades de los bancos, éstos han perdido terreno en favor de otras organizaciones financieras en su papel de mediación entre los que tienen dinero sobrante y aquellos que lo necesitan. Grandes sociedades anónimas se prestan dinero mutuamente a corto plazo, en lugar de acudir para estas operaciones a los bancos. Los préstamos se intervienen a través de seguros con compañías especializadas. Más aún, para muchos individuos los fondos del mercado financiero han reemplazado las cuentas de ahorro. Mientras tanto, y en parte como consecuencia de una gran capacidad, eficiencia y bajos costes, los bancos han incrementado su actividad de captación y colocación de flujos monetarios. En el proceso, se han apoyado e incluso facilitado las operaciones de otros intermediarios financieros que ahora compiten con los bancos.

La mecanización no ha afectado al empleo en la banca. Como los incrementos de productividad han venido acompañados de incrementos incluso mayores en la demanda de servicios bancarios, el empleo creció alrededor de un 50 por ciento entre los años 1970-1980, desde algo más de un millón de puestos de trabajo a 1,6 millones. Gran parte del flujo del dinero a través de los bancos se debe al alto índice de inflación y a los tipos de interés volátiles; el flujo puede disminuir si vuelve un clima económico más estable. Cambios legales pueden mejorar las restricciones con las que se enfrentan hoy las instituciones bancarias. Sin embargo, el sector ha sufrido un proceso de reestructuración y es poco probable una completa vuelta de los bancos a sus prácticas tradicionales.

La distribución de mercancías ha requerido siempre servicios financieros; de hecho, muchos servicios de las empresas de seguros y de los bancos nacieron en respuesta a las necesidades planteadas por quienes transportaban los productos. La mecanización del transporte requiere más equipamiento no electrónico que la de los bancos, aunque también hace amplio uso de los sistemas electrónicos. La combinación de ambos sistemas (electrónico y no electrónico) se puede ver en el reciente crecimiento de los embarques en contenedores. Los contenedores son una tecnología antigua, cuyo nivel actual de empleo debe mucho a la aparición del mundo de las telecomunicaciones y los ordenadores.

La era moderna de los buques contenedores comenzó a finales de los años 50, cuando Malcolm McLean adquirió la Pan Atlantic Steamship Company, una naviera que cubría el servicio entre los puertos del nordeste de Esta-




**través del Federal Reserve System, FedWire (*c*), (las transferencias en 1980 fueron de 78,6 billones de dólares) comenzando a operar redes privadas de transferencias; así, CHIPS (*d*). Aparecieron, además, las tarjetas de crédito (*e*, *f*). Hasta 1970 el crecimiento del sector bancario reflejó el crecimiento de la población y la popularización de los cheques. Desde 1975 el crecimiento (apoyado por la mecanización) refleja un flujo de dinero entre inversiones.**

dos Unidos y los del golfo de México y Puerto Rico. McLean, que había operado antes con una flota de camiones, decidió ofrecer un "servicio de transbordadores para camiones", mas para camiones que dejaran las ruedas en tierra. Abandonando los remolques que llevan los contenedores por carretera, y dejando estos últimos cargados en el muelle, aceleró la carga y descarga y pudo trasladar las mercancías desde el origen hasta su destino. Por la misma época, la Matson Navigation Company abrió un servicio regular entre la costa oeste de los Estados Unidos y Hawai. Ambos servicios florecieron y otros comenzaron a emularles.

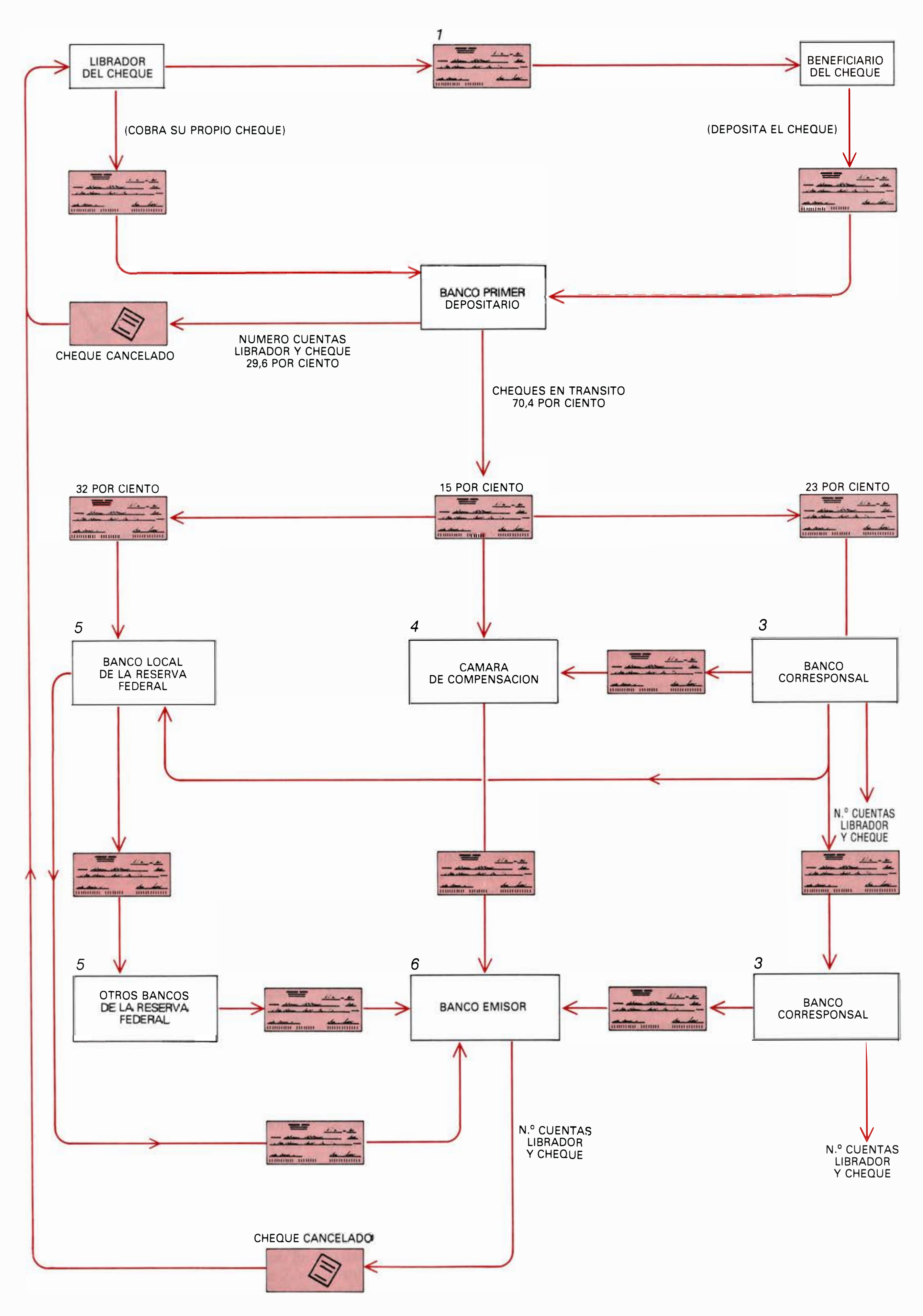
Costó más dar nuevos pasos en el mundo de los contenedores. Un primer requisito era la normalización de su tamaño y los ajustes donde las grúas enganchaban para elevarlos. La legislación condicionó también el sendero de su desarrollo. Así, las rutas a Puerto Rico y Hawai eran domésticas y prácticamente sin normativa, pero los servicios marítimos internacionales estaban muy regulados y con fuertes subsidios del gobierno. El mecanismo del subsidio restó aliento a la introducción de nueva tecnología. Por ejemplo, en relación con los costes de personal se primaba más a los que contrataban tripulación norteamericana en lugar de extranjera, pero no se subvencionaba el tener barcos o servicios más mecanizados.

Hubo también numerosas barreras institucionales. El transporte marítimo consta de muchas partes implicadas: transportistas, forwarder de fletes (mediadores que contratan la carga y que ganan dinero gracias a los diferentes precios que rigen para pequeñas o grandes cantidades), transportistas de carretera, compañías de seguros, cargadores de muelle, personal portuario, agentes de aduanas (a quienes se contrata para acelerar las formalidades en el puerto) y las propias compañías marítimas. En su regulación suelen intervenir muchos entes legislativos. (Por ceñirnos al caso estadounidense: la Comisión Federal Marítima, la Administración Marítima, la Comisión Comercial Interestados y el Servicio Norteamericano de Aduanas.) La introducción de los contenedores afectó de forma diferente a cada una de estas partes, unas vieron ventajas y otras sintieron amenazas. Si bien financieramente el mundo de los contenedores supuso un considerable ahorro en costes, a la distribución de estos ahorros se llegó con lentitud.

El mundo de los contenedores ofrece muchas ventajas. La carga está mejor protegida contra daños y ratería y, por tanto, los costes del seguro pueden ser más bajos. El manejo es más sencillo y los costes descienden sensiblemente. En muchos casos los contenedores pueden ir desde su origen hasta el punto de destino sin ser abiertos en ruta. Desde la óptica del armador, el mayor beneficio se centró en una provechosa utilización de su principal activo: el barco. En efecto, al poder multiplicar por 10 o más lo que se puede cargar en el puerto usando contenedores (de 500 toneladas por día para barcos convencionales a 5000 para barcos contenedores), ese tipo de barcos puede navegar más generando más tesorería y estar menos tiempo en puerto, donde todo lo que hacen es aumentar costes.

Para el mundo de los contenedores, los modernos servicios de telecomunicaciones y ordenadores son cruciales. Como los barcos son cada vez mayores, más rápidos y pasan menos tiempo en los puertos, sus manifiestos de carga rara vez están completos cuando el buque está listo para abandonar el puerto. Así pues, para que el puerto de destino conozca la carga que va a llegar, los manifiestos se transmiten mucho más rápido por telecomunicación, de ordenador a ordenador, que por carta o por avión. Más importante todavía: hay que estar al tanto de la multitud de contenedores existentes. ¿A quién pertenece cada uno? ¿De qué tipo de contenedor se trata? ¿Dónde está? ¿Qué lleva y de dónde a dónde? ¿Cuál es su condición? ¿Necesita reparaciones? ¿Quién debe a quién, qué dinero por su uso y mantenimiento? ¿Quién ha de llenarlo cuando se vacíe? ¿Es o no adecuado en una región la oferta de contenedores vacíos? ¿Dónde obtener estos últimos? Por lo que respecta a los pequeños servicios marítimos de contenedores, tal vez puedan realizarse sin recurrir a los ordenadores; pero a la hora de rendir en las operaciones de cierto tamaño, el elevado número de contenedores exige la mediación de los ordenadores so pena de que aumente el confusionismo y el descontrol.

Los mismos barcos de contenedores se van mecanizando cada vez más. En


1
LIBRADOR DEL CHEQUE
BENEFICIARIO DEL CHEQUE
(COBRA SU PROPIO CHEQUE)
(DEPOSITA EL CHEQUE)
BANCO PRIMER DEPOSITARIO
CHEQUE CANCELADO
NUMERO CUENTAS LIBRADOR Y CHEQUE 29,6 POR CIENTO
CHEQUES EN TRANSITO 70,4 POR CIENTO
32 POR CIENTO
15 POR CIENTO
23 POR CIENTO
5
BANCO LOCAL DE LA RESERVA FEDERAL
4
CAMARA DE COMPENSACION
3
BANCO CORRESPONSAL
N.º CUENTAS LIBRADOR Y CHEQUE
5
OTROS BANCOS DE LA RESERVA FEDERAL
6
BANCO EMISOR
3
BANCO CORRESPONSAL
N.º CUENTAS LIBRADOR Y CHEQUE
N.º CUENTAS LIBRADOR Y CHEQUE
CHEQUE CANCELADO

los buques modernos, la sala de máquinas va sin personal en el turno de noche, ya que la instrumentación y sistemas de control en el puente son suficientes para la mayoría de las operaciones. Las tripulaciones han mermado su dotación (aunque permanecen por encima de los niveles mínimos establecidos por el U.S. Coast Guard) y, como compensación del poco tiempo que los barcos recalan en puerto, las tripulaciones pueden obtener vacaciones más largas y se les da un alojamiento que se asemeja más al de un crucero de recreo que a un barco de carga. A juego con la disminución del tiempo en puerto, nos encontramos con el descenso en el número de amarraderos necesarios. Para asegurar un buen servicio debe disponerse de un espacio considerable donde ordenar y almacenar los contenedores, pero frecuentemente este espacio se encuentra en nuevos tinglados, fuera de las ciudades portuarias. De este modo, el terreno dedicado antes a embarcadero pasa a situación de disponible para su reconversión en área comercial, residencial o deportiva.

Si todo transporte oceánico va de alguna forma asociado con el terrestre, el mundo del transporte marítimo de contenedores ha tenido también su impacto sobre los camiones y ferrocarriles. En particular, los ferrocarriles se pueden beneficiar de los grandes flujos de carga que llegan, destinando unidades especiales que lleven los contenedores a otros importantes puntos de destino interiores. Estos servicios funcionan ahora, de costa a costa, en los Estados Unidos, habiéndose utilizado también para transportar ingentes cargamentos de carbón y minerales. Trenes especiales acarreando coches, adecuadamente acoplados, cubren largos recorridos. Estos acoplamientos permiten que cada coche gire a lo largo de los ejes del tren, de suerte que puedan descargar por rotación, obviándose las operaciones de desacoplamiento y reacoplamiento que requerirían mucha mano de obra: un ejemplo de una tecnología sencilla que proporciona resultados impresionantes.

Los nuevos equipamientos electrónicos se están aplicando a todas las formas de transporte. En este sentido, nuevos sistemas de ordenadores comienzan a prestar servicios de mediación que acoplan los camiones vacíos con los que esperan que su cargamento sea transportado. Microprocesadores instalados en los vehículos analizan los datos que obtienen de los sensores para así mejorar el rendimiento de todo tipo de motores. Terminarán por intervenir en otras formas de control de los vehículos. Otra aplicación potencial de los microprocesadores es la de que, recibiendo información de la "consistencia" del tren (orden y peso de las unidades transportadas por el mismo), la use para guiar la frenada. El resultado sería probablemente un descenso del consumo de combustible y menos desgaste y daños, tanto para el tren como para su carga. Hasta ahora, sin embargo, el transporte aéreo ha sido el que más ampliamente ha aplicado los nuevos sistemas electrónicos.

Consideremos, por ejemplo, el sistema electrónico de reservas. En 1963 lo introdujo la American Airlines, Inc. Nació como resultado de un esfuerzo conjunto con la International Business Machines Corporation. Antes, las compañías aéreas registraban manualmente en un libro los pasajeros apuntados y, mediante un sistema electromecánico, anunciaban en sus tableros los asientos disponibles en sus oficinas de reserva. Era difícil de leer a cierta distancia lo escrito; los propios empleados necesitaban prismáticos para ver bien. A veces, la correlación entre lo señalado en el papel y lo visto en los paneles era pequeña. Entre 1960 y 1980 se multiplicó por cinco el número de pasajeros que utilizaron el transporte aéreo en los Estados Unidos. El empleo de los sistemas electrónicos de reserva con su rapidez, precisión, facilidad de uso, coste y eficiencia facilitó semejante desarrollo. Al tiempo que creció la industria del transporte aéreo, se ampliaron también las plantillas (un 15 por ciento entre 1970 y 1980).

El sector del transporte debe ser estudiado, más que ningún otro, desde la perspectiva de la teoría de sistemas, ya que con frecuencia este sector deriva bienes de un medio de transporte a otro, de la misma forma que los lleva desde un punto de origen a otro de destino. Esto sugiere que las nuevas regulaciones terminarán por favorecer más a las grandes empresas que operan en los diversos medios de transporte. Parece también probable que la mecanización acelerará el proceso, ya que las organizaciones que mejor pueden explotar los beneficios de la mecanización suelen ser las que ejercen cierto grado de control sobre el sistema de transporte en su totalidad, más que aquellas que sólo operan una de sus modalidades.

La mecanización se está también imponiendo en cada una de las etapas de la distribución de mercancías

Mock Corp.
Chicago, Illinois 60604
12074
PAY DOLLARS AND CENTS Date Amount
Twenty-one dollars & forty-one cents JUL 1582 $21.41
to the order of CASH
Mock Corp.
First Municipal Bank
Chicago, Illinois
⑈012074⑈ ⑆0710⑉0015⑆ 0030190743⑈ ⑈0000002141⑈

REGISTROS AUXILIARES | REG. PARA FACILITAR EL TRANSITO | N.° CUENTAS LIBRADOR Y CHEQUE | CANTIDAD

**GRACIAS A LA MECANIZACION se facilita el flujo de los cheques en su vía de vuelta al banco emisor. La mecanización depende de máquinas lectoras de los caracteres en tinta magnética que aparecen en la parte inferior de los cheques. Este flujo se puede ver en el diagrama de la izquierda. Comienza con pagos que se hacen por cheque (*1*). La cantidad de cada cheque se abona en la cuenta del beneficiario del mismo (*2*). Sin embargo, en última instancia dicha cantidad se debe cargar en la cuenta del librador del cheque. Consiguientemente, el cheque se mueve a través de una combinación de tres instituciones: bancos corresponsales (*3*), que manejan cuentas de cheques para algunos bancos y proporcionan cobertura geográfica a otros, cámaras de compensación (*4*), que reciben los cheques bancarios que los bancos libran contra sí mismos y que clasifican los cheques para distribuirlos a los bancos que los sustentan, y bancos de la Reserva Federal (*5*), que actúan como las cámaras de compensación. Como promedio, un cheque en tránsito se procesa por casi dos bancos, incluyendo el banco emisor del cheque (*6*). Los números que van a ser descifrados por lectoras especiales aparecen en el gráfico de esta página. Se imprimen sobre el cheque con una tinta que contiene un óxido de hierro: los números se magnetizan y pueden ser leídos por máquinas clasificadoras e instrumental computarizado. (Las transacciones entre bancos se hacen cada vez más de forma electrónica.) "On-us field" son unos números que se ponen a discreción del banco pagador (o su corresponsal): identifican la cuenta del librador del cheque y pueden registrar también el número del mismo. "Amount field" indica el valor pagado por el cheque tal como ha sido registrado por el banco pagador. "Transit field" guía el cheque a través del sistema bancario. Sus dos primeros dígitos indican en cuál de los 12 distritos de la Reserva Federal se incluye el banco pagador. El tercer dígito especifica una oficina de la Reserva Federal en ese distrito (o un acuerdo especial para la recaudación de fondos). El cuarto dígito especifica un estado en el distrito (o un acuerdo especial para la recaudación). Los cuatro dígitos restantes identifican específicamente el banco pagador. También aparece información sobre el "transit field" del cheque (para clasificación manual) en el ángulo superior derecho del cheque.**

(mayoristas y minoristas). Una aplicación en la venta al por mayor la tenemos en el intercambio de datos electrónicos entre empresas. El objetivo es mecanizar todos los aspectos del procesamiento de un pedido, incluyendo no sólo la orden de demanda, sino también la presentación de la oferta, los precios, descuentos, ofertas especiales y demás. La tecnología se basa en redes convencionales de telecomunicación conectadas a los terminales de los participantes, pero de nuevo el problema se centra en conseguir la normalización (estandarización).

El problema se plantea porque cada empresa acostumbra a tener su propio formato para los listados de precios, órdenes y facturas. Aunque no suponga ello ninguna dificultad para la gente, sí la crea para los ordenadores. Los acuerdos sobre formatos y normas se alcanzan a través de las asociaciones de comercio. En los Estados Unidos, por ejemplo, la Food Marketing Institute, la Grocery Manufacturers of America, Inc. y otras cuatro organizaciones comerciales han colaborado en el desarrollo de modelos para intercambios entre distribuidores, intermediarios y fabricantes de productos alimenticios. Estos modelos constituyen la Uniform Communications System (UCS) para el sector de las tiendas de ultramarinos. En la documentación del mundo del transporte, rama del comercio que incluye temas como tarifas, avisos, documentos de control y acuerdos sobre facturación y pagos, se ha seguido un enfoque ligeramente diferente. En este caso el esfuerzo norteamericano lo ha desarrollado la Transportation Data Coordinating Committee, organización no lucrativa que vive gracias a las cuotas de los expedidores de mercancías,

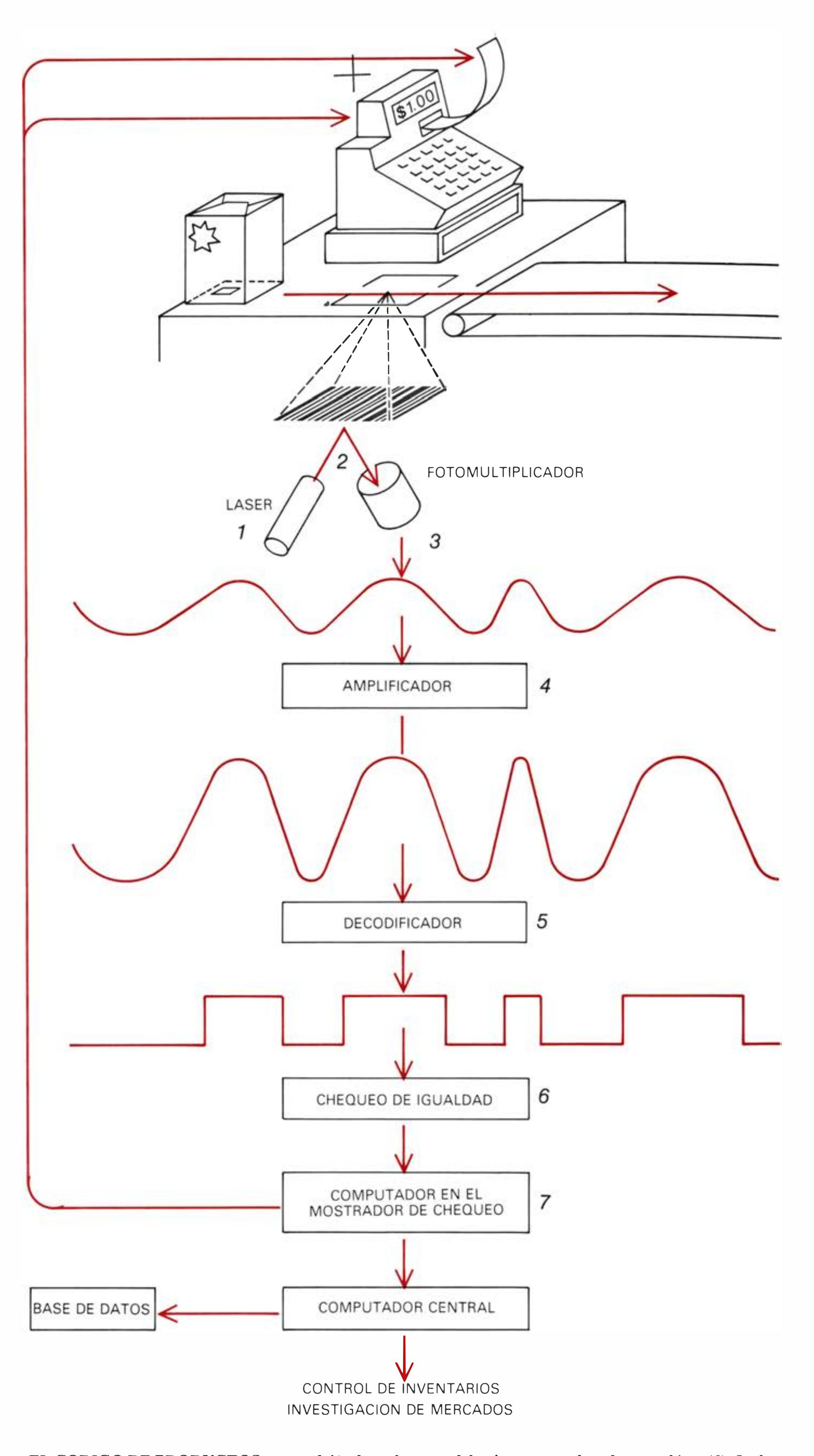



**SE LLAMA CODIGO UNIVERSAL de productos al conjunto de líneas gruesas y delgadas impresas en los artículos de muchos supermercados. Codifica doce dígitos. Los seis que están a la izquierda del "dibujo guarda central" están representados, cada uno, por un espacio en blanco, una línea, un segundo blanco y otra línea. Los otros seis dígitos, a la derecha del "dibujo guarda central", se representan por una línea, espacio blanco, línea, blanco. Este ajuste permite determinar al computador situado en la mesa del cajero si el código ha sido o no examinado al revés por el sensor situado en el mostrador. (En este caso el computador invierte los datos.) Los doce dígitos tienen diversos significados. El primer dígito decodificado que aparece también en forma legible para los humanos, a la izquierda de las líneas, se le llama carácter numérico del sistema. Un cero significa que el artículo es una mercancía de un supermercado. Los cinco siguientes dígitos (en este caso 1, 2, 3, 4, 5) sirven para identificar al fabricante del artículo. Los cinco dígitos siguientes (6, 7, 8, 9, 0) identifican al propio artículo. El último dígito, que no aparece en forma legible por los humanos, sirve para confirmar que los once anteriores han sido examinados y decodificados correctamente. Es el menor de los números que da un múltiplo de 10 cuando se adiciona a la suma de los dígitos decodificados segundo, cuarto, sexto, octavo y décimo, tres veces la suma del primero, tercero, quinto, séptimo, noveno y undécimo. Las señales de los extremos definen el área que debería permanecer en blanco alrededor del conjunto de líneas. Montaje preparado por la Photographic Sciences Corporation.**

empresas de transporte y otros afiliados. El enfoque más comúnmente seguido en todos estos esfuerzos ha sido el de normalizar los formatos de comunicación y protocolos, de suerte que cada participante desarrolle un programa que traduzca su formato privado a las normas de comunicación.

En los almacenes, los ordenadores desarrollan muchas tareas de registro de datos y guía de actividades. Una aplicación particularmente interesante es la de informar de la situación de los artículos almacenados, y posibilitar así la ubicación al azar de los artículos, de lo que se deriva un rendimiento casi doble del que se logra al ponerlos en sitio fijo. Otra importante aplicación es la mecanización de las operaciones manuales. Como ejemplo tenemos el empleo de carretillas elevadoras y equipo similar, que incorpora sensores y microprocesadores; sistemas de recepción de pedidos semiautomáticos, controlados por un operador, y otros completamente automáticos, en los que se incluyen dispositivos para apilar y sacar las cajas de plataformas portátiles. El diseño de sistemas de automatización total en almacenes se remonta a 1958, pero desde entonces la mayor parte de los esfuerzos se han concentrado en los sistemas semiautomáticos, ya que éstos permiten una mayor flexibilidad de adaptación a los cambios en el tamaño y forma de los objetos que entran en los almacenes.

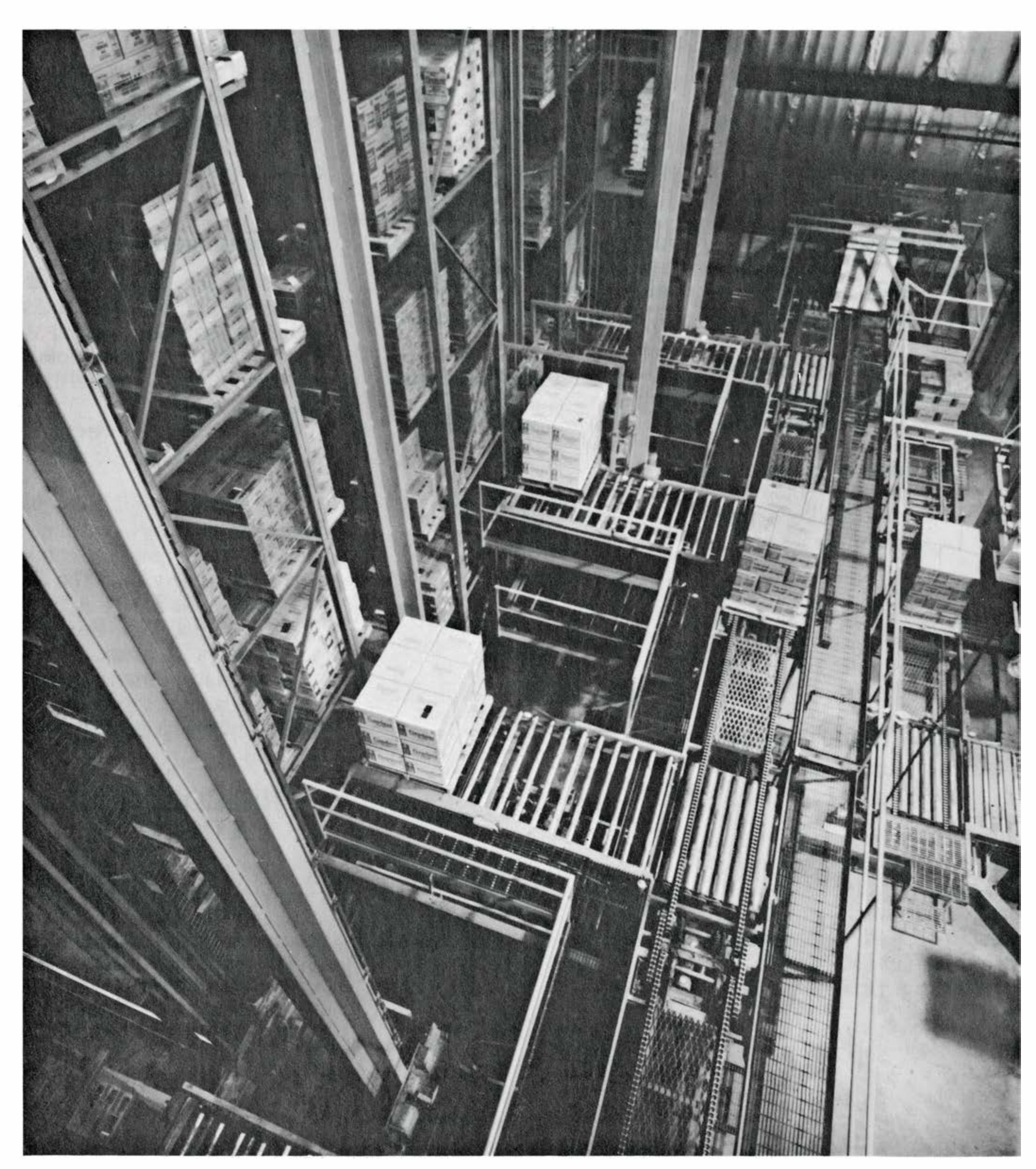
En el comercio al por menor, la mecanización se ha plasmado en las cajas registradoras y otros aspectos de la venta. La mejor aplicación la ofrece la rama de la alimentación, debido fundamentalmente a la introducción del código universal de productos (CUP). Al igual que ocurría con la lectora de cheques, hay ejemplos de unificación de criterios que permiten el procesamiento electrónico de los datos de entrada. Las barras CUP son el conjunto de líneas gruesas y delgadas impresas en casi todos los alimentos preparados. Estas barras permiten que el cajero conozca cada compra a través de un terminal electrónico, al hacer pasar cada artículo por un dispositivo láser fotoeléctrico inserto en el mostrador. El terminal recoge el precio del artículo del computador central y lo imprime en la nota de venta. El registro de compraventa se puede computar a su vez en un sistema de control automático de inventario y de órdenes de compra. Se recaban así datos para posteriores investigaciones de mercado, control de coste de almacenamiento y distribución más adecuada de




**EL CODIGO DE PRODUCTOS** es escudriñado en la mesa del cajero por un haz de rayos láser (*1*). La luz reflejada proveniente de los espacios blancos que hay entre cada dos líneas sucesivas del código universal de productos (*2*) se convierte en una señal eléctrica cotinua (analógica) (*3*) que, a su vez, es amplificada (*4*) y "cortada" en señal discontinua (digital) (*5*). Se decodifica esta última señal, y el cálculo del dígito número doce (*6*) confirma que la decodificación es correcta. Posteriormente, un computador situado en el mostrador (*7*) emplea los datos decodificados para buscar el precio del artículo en cuestión en el computador central. Los datos decodificados (entradas para el computador central) guían también el control de inventarios, orden de pedidos, investigación de mercado y distribución del espacio de los almacenes. Este sistema de codificación por líneas y espacios blancos, de una forma u otra, está ya aplicándose en bibliotecas, colecciones de revistas, fotocontrol de sobres-pedido, billetes, en remontadores de pistas de esquí, paquetes manejados por empresas de transporte y depósitos de sangre en los bancos de sangre.

los productos. El aspecto menos popular del CUP es el visionado de los precios. El comerciante quiere poner los precios únicamente en las baldas donde se almacenan los productos, y ahorrarse así el coste de personal que los ha de fijar sobre cada artículo. Algunos estados obligan ya al comerciante a que ponga el precio en todos. De cualquier forma, los sistemas de codificación de productos, después de su comienzo lento, se están extendiendo con bastante rapidez.

En las tiendas son también normales otras aplicaciones de la mecanización. Así, se han desarrollado terminales que conforman los cheques que presentan los clientes para pagar, comprobando en el correspondiente registro si alguno de sus anteriores cheques fue rechazado. Otra aplicación que todavía no está



**ALMACEN MECANIZADO en Hatboro, Pa., controlado por computadoras; almacena y recupera "palés" (plataformas portátiles) que llevan productos farmacéuticos sin receta (principalmente Fórmula 44 para la tos y Lavoris para enjuagues) fabricados por la Vick Chemical. Una vez que se han almacenado los productos, la correa transportadora de la derecha de la fotografía lleva los "palés" a una de las siete naves laterales; aquí cada "palé" pasa a una máquina A/R (almacenamiento/recuperación), que se llama también apiladora, "stacker". El "stacker" lleva el "palé" por el pasillo de la nave lateral, lo sube o lo baja según convenga y lo deposita en un estante de almacenamiento. Las apiladoras miden 20 metros de alto; las naves laterales tienen unos 120 metros de longitud. Cada cubículo puede soportar un peso de 1133 kilogramos. El almacén fue construido por Harman Material Handling Systems.**

en servicio, aunque sea técnicamente posible, consiste en instalar un terminal en la mesa del cajero conectada a la red bancaria local. Insertando una tarjeta especial, el cliente podría hacer que le cargasen directamente en su cuenta, en vez de pagar al contado o con un cheque.

El último aspecto de la mecanización del comercio que se expone aquí es el correspondiente al mundo de las telecomunicaciones. Esta industria avanza a grandes pasos en todo el mundo. El abanico de alternativas técnicas y aplicaciones potenciales que ofrece necesitará varias décadas para su cabal aprovechamiento. (La red de teléfonos es tan extensa que los cambios no pueden ser rápidos. Imagine el esfuerzo que requeriría extender y colocar en cada casa líneas ópticas que permitieran una comunicación visual, además de la hablada.) Por otro lado, hay que decir también que muchas de las formas de mecanización antes descritas requieren la disponibilidad de sistemas adecuados de telecomunicación.

Si no hubiera sido por la creciente mecanización que ha experimentado el servicio de teléfono, haría ya tiempo que este servicio resultaría muy caro o imposible de mantener. Un episodio importante de su historia lo constituye la introducción del sistema dial a través del cual quien quiere la comunicación, marcando el número deseado, realiza el trabajo antes encomendado al operador. Este sistema se ha ido extendiendo a nivel nacional e internacional. Por otra parte, la eficiencia en las llamadas a larga distancia se ha realzado con la instalación de sistemas computarizados que permiten grabar llamadas, o mecanizar la cuenta del uso telefónico. Dentro de las oficinas de teléfonos, una serie de cambios tecnológicos ha marcado la transición de los cuadros de conexión normal a las centrales automáticas. Las nuevas centrales tienen menos coste de mantenimiento, son más rápidas, gozan de mejores características de transmisión y recogen y mantienen la información de una forma más eficiente, datos que pueden usarse para estudios posteriores o facturación de clientes.

Muchos de estos adelantos están basados en una tecnología compleja. Sin embargo, el sistema telefónico ilustra también como se pueden conseguir grandes mejoras en la productividad con dispositivos bastantes sencillos. Originariamente todas las instalaciones telefónicas estaban, de una forma más o menos permanente, conectadas con el instrumental telefónico. Más tarde, en los años 60, las compañías telefónicas introdujeron extensiones enchufables. Se requería, no obstante, que al menos se instalara un teléfono por el sistema tradicional. Recientemente, la práctica ha cambiado más aún: las instalaciones telefónicas que se hacen ahora en las viviendas tienen enchufes universales que permiten a los usuarios instalar sus propios teléfonos. Además de que este último progreso redujo, en los Estados Unidos, la presión unificadora de los fabricantes de equipo especial para interconectar con el telefónico, otro importante motivo para la adopción del cambio fue la resistencia del gobierno a subvencionar los crecientes costes de instalación telefónica. Muchas compañías telefónicas han desarrollado ya una base de datos informatizados que contienen la situación del cableado y enchufes en una casa, de modo que el individuo que cambie de residencia pueda determinar por sí mismo sus necesidades telefónicas, recoger el material telefónico en tiendas especializadas e instalar el servicio. Como se ve, un conjunto de cambios relativamente sencillos ha permitido compartir tareas y una reducción del coste de instalación.

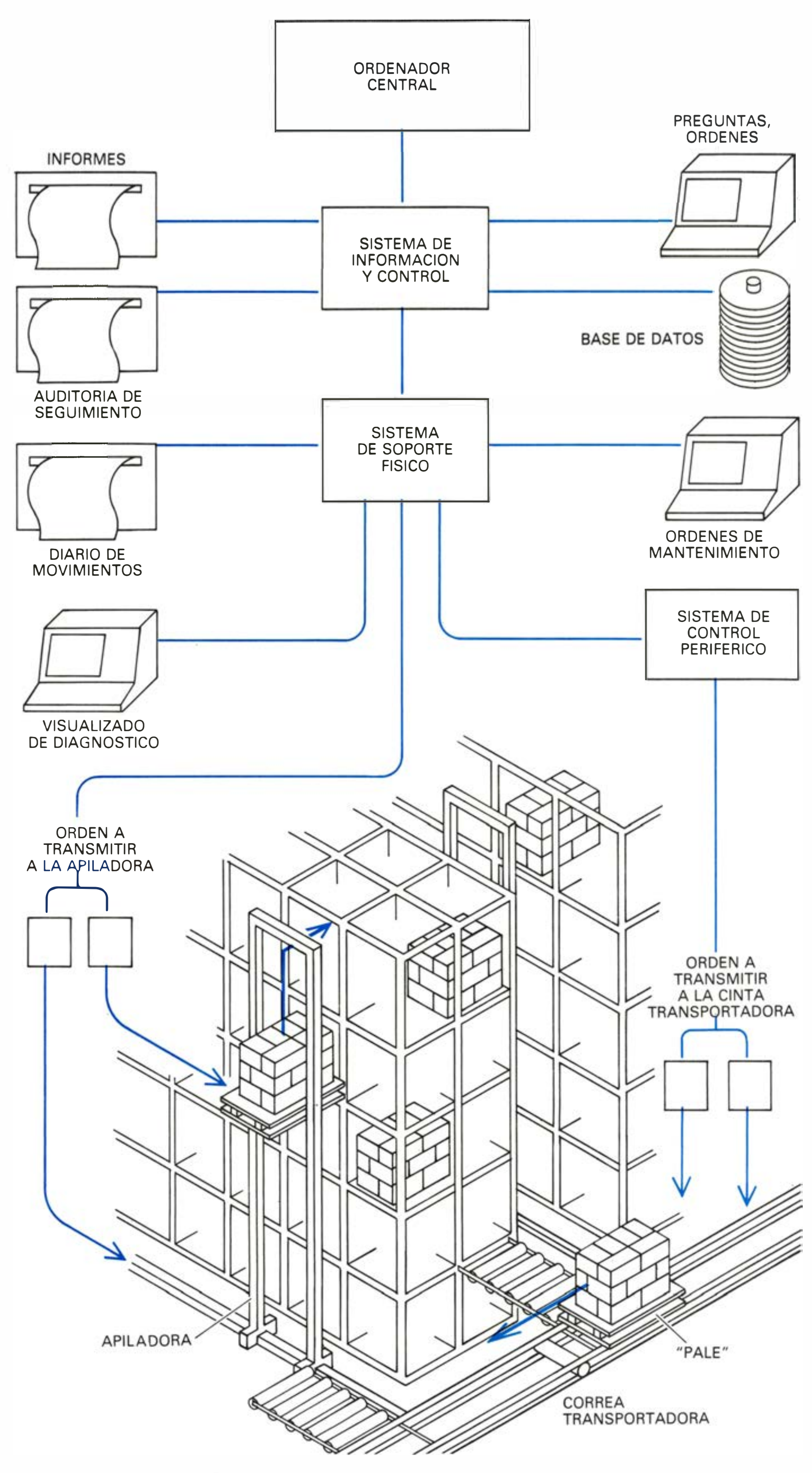
A la vista de la actual mecanización en el mundo del comercio, uno se acuerda de las pinturas de Brueghel el Viejo, dotadas de un vigor casi frenético, con su representación de la diversidad y pormenores de la actividad humana. El comercio es, por supuesto, sólo un aspecto de la vida, y no la totalidad de la misma que Brueghel contempló; este enfoque más estrecho es en gran medida responsable de las similitudes que yo he encontrado encerradas en las múltiples facetas de su mecanización.

En primer lugar, aunque las actividades comerciales configuran la mayor parte de nuestra infraestructura económica, dichas actividades deben considerar la infraestructura ya existente. No se puede explotar debidamente una innovación técnica si no se dispone de la infraestructura. Sin duda, unas instituciones se pueden beneficiar más que otras de la mecanización, pero no se puede olvidar a estas últimas, o al proceso le faltará la universalidad requerida para ser útil para todos los servicios. Esta es la razón por la que se considera básico para la mecanización el desarrollo formal o informal de normas, bien sea normas referidas a formatos para la entrada de datos o que especifiquen el tamaño, la forma u otras características de los objetos. La adopción de normas puede provocar el que se den todos los pasos necesarios para la mecanización. Sin embargo, su introducción tiene también unos riesgos, al incorporar una rigidez que se puede lamentar más tarde si mejoras tecnológicas posteriores abren nuevas, mejores, posibilidades. Riesgos que pueden presentarse asimismo en el caso de que entren en colisión normas distintas. Para el tratamiento de datos los bancos se decidieron por la tecnología magnética; el comercio al por menor ha escogido tecnología óptica. Semejante disparidad puede convertirse en un obstáculo cuando se busque un sistema combinado.

En segundo lugar, la mecanización exige nuevas relaciones institucionales. Teniendo en cuenta que el comercio es un sistema y que sus beneficios se distribuyen entre muchos participantes, se debe alcanzar (o forzar) un acuerdo sobre la forma de reparto de los beneficios de una innovación. De lo contrario, algunos partícipes podrían mostrarse reacios a invertir en la innovación; quienes asumieran los riesgos no se verían compensados por mayores beneficios. Es manifiesto el papel que el gobierno desempeña en acelerar, retrasar o desviar la mecanización, y, por lo tanto, en las nuevas relaciones institucionales. En el mundo de las telecomunicaciones y de las finanzas, la actual tendencia legislativa, en parte destacada, puede servir para contemplar avances técnicos que antes no podían ser explotados o ser usados sin infringir las reglas existentes. En el último caso se había dejado al país con las reglamentaciones, pero sin los beneficios que las reglamentaciones se suponen debían promover.

Los beneficios de la mecanización del comercio se manifiestan de muchas formas. Si bien los incrementos de productividad del factor trabajo constituyen un claro ejemplo, la mecanización ha supuesto, casi siempre, mejoras en datos disponibles, velocidad, capacidad de respuesta, fiabilidad y economía. A veces estas mejoras han contribuido a incrementar la demanda, evitando el despido de personal, e incluso incrementando el empleo. En cualquier caso, el nivel de actividad y de calidad que ahora consideramos garantizado en muchas industrias no hubiera sido posible sin la mecanización.

Hasta aquí hemos hablado de los beneficios de la mecanización. ¿Qué decir de los inconvenientes? Algunos de ellos están específicamente relacionados con el comercio; otros tienen que ver con temas más amplios sobre la incidencia de la mecanización en la sociedad. En




**CONTROL DEL ALMACEN MECANIZADO** por dos sistemas unidos, que residen con frecuencia en computadores distintos. Uno de ellos, el sistema de información y control, decide lo que podría llamarse estrategia de almacenamiento y recuperación. En este sentido, señala la actividad realizada por las diversas apiladoras, informa de la distancia más corta a los cubículos vacíos y selecciona para su recuperación los artículos que llevan más tiempo almacenados. Pone continuamente al día las existencias del almacén. El otro sistema es el de soporte físico o "hardware". Gobierna el equipo móvil del almacén. Sus señales de mando son convertidas en corriente eléctrica que ponen en movimiento los motores de la cinta transportadora y de las apiladoras. A su vez, los sensores de la cinta transportadora y de los "stackers" o apiladoras envían señales al sistema de soporte físico, de tal forma que el sistema puede, en todo momento, conocer la situación del equipo móvil. El diario de movimientos y la auditoría de seguimiento son informes de lo realizado por ambos sistemas. Con frecuencia, los sistemas de computadores que controlan un almacén mecanizado están enlazados electrónicamente con un ordenador central de la compañía.

la primera categoría destaca la inquietud acerca de cuán vulnerable pueda resultar un individuo ante la mecanización de los sectores financieros. Esta inquietud ha motivado una legislación protectora del consumidor que contempla la pérdida de su tarjeta de crédito, las acciones a tomar cuando se encuentran errores de facturación, etcétera. Persisten temores sobre el fraude, robo e invasión de la esfera privada.

Existen una serie de medidas para aliviar estos temores. Unas son de naturaleza legislativa; otras, técnicas. Por supuesto, tendrán un precio: costes más altos para las instituciones financieras y sus clientes y unos mayores requisitos de identificación al comienzo de las transacciones. Hasta ahora, la competencia entre instituciones financieras ha retraído posibles esfuerzos individuales para desarrollar las medidas técnicas. El problema más acuciante es hoy el de la falta de un sistema formal para notificar y agregar datos sobre la frecuencia y naturaleza de los incidentes desagradables. Estos no se eliminarán del todo nunca, pero pueden ser controlados. Se puede anticipar una continuación de la guerra permanente entre cerrajeros y ladrones, elevada ahora a niveles tecnológicos refinados y que deniega "empleo" a los ladrones menos preparados.

Otra fuente de preocupación general tiene que ver con la calidad de vida, erosionada con la despersonalización corrientemente unida a la mecanización. El calor humano desaparece cuando uno trata con una máquina en lugar de una persona. Con todo, en muchos ejemplos de la mecanización que aquí se han expuesto, el toque personal no es compaginable con la mecanización, de tal forma que la elección es entre servicio mecanizado o menos servicio. En conjunto, los valores humanos se pueden servir mejor aceptando la mecanización. En algunas situaciones, como cuando uno no puede hablar la lengua del país en que se encuentra, se pueden diseñar sistemas mecanizados que son más fáciles de entender que una persona que sólo hable su idioma de origen. Más aún, a la generación más joven obviamente no le intimida el afrontar la relación consumidor-sistemas electrónicos mecanizados. Las mayores preocupaciones conciernen al mundo de los trabajadores. Muchos de los sistemas mecanizados (los receptores de pedidos semiautomáticos, por ejemplo) tienden a aislar a los trabajadores y rompen los modelos sociales normales.

Los sistemas mecanizados pueden provocar un rendimiento excesivo. La eficiencia se obtiene casi siempre con pérdida de flexibilidad y poder de recuperación. La crisis del petróleo de Oriente Medio afectó a los Estados Unidos, entre otras razones, porque su sistema de distribución de petróleo era tan eficiente que el stock de seguridad se había reducido a un nivel mínimo. Esto ofreció muy poca protección ante una interrupción no prevista.

Finalmente, nos encontramos con el problema del reemplazo de la mano de obra. ¿Quién va a ser despedido y cómo se va a llevar ese reemplazo? La incidencia rara vez es grave cuando la transición al sistema mecanizado es lenta (como en el mundo de los contenedores) o cuando se produce en un sector en expansión (transporte aéreo o bancos). Pero cuando el sector se encuentra en la fase de madurez, o cuando se trata de un cambio rápido, el problema es difícil de solucionar. Los esfuerzos para reciclar a los trabajadores desplazados ofrecen generalmente pobres resultados, incluso aunque la economía del país esté en rápido crecimiento. La mayoría de los trabajadores sienten una justificable angustia al ser privados de su acostumbrado sustento. Los obreros menos preparados sufren desproporcionadamente y son los menos capaces de defenderse por su cuenta. Se trata de un complejo problema social cuya solución requiere una reforma del sistema educativo y un nuevo énfasis en animar a los jóvenes a que adquieran las especializaciones que se necesitarán en un mundo cada vez más mecanizado. A este respecto, conviene hacer notar que la futura mecanización ampliará el número de personas afectadas. La mecanización ha eliminado ya algunos niveles medios de gestión, y el desarrollo de esta inteligencia artificial puede terminar por afectar a profesionales preparados.

Hasta ahora, la demanda de nuevos servicios se ha realizado poco menos que en un abrir y cerrar de ojos. Pero llegará un momento en que se producirá una reestructuración fundamental del mundo de los negocios y de la vida social. Tardarán más de diez años en que ocurra. Esta reestructuración revestirá particular dureza para muchos, especialmente para quienes su formación y experiencia limiten los tipos de empleo que puedan buscar. El inmediato reto, ciertamente importante, es hacer que la reestructuración se lleve a cabo de una forma más humana que la que tuvo lugar en la Revolución Industrial.

# Mecanización de las telecomunicaciones

*La introducción de microprocesadores y otros circuitos integrados abre las puertas a innovaciones en las comunicaciones de textos, imágenes y sonidos, al tiempo que plantea problemas de difícil solución*

Severiano Aznar Peñarroyas

La tecnología electrónica, con sus microprocesadores, memorias de capacidad creciente y circuitos integrados está cambiando el sector de las comunicaciones en una medida mayor que la que representó la introducción de la tecnología electromecánica, de la mano del relé, hace medio siglo, sustituyendo los centros de conmutación manuales por otros automáticos en la red telefónica.

A lo largo de este artículo iremos viendo la situación actual del sector de telecomunicación y sus redes, los cambios que en él se están operando y las consecuencias previsibles sobre la fabricación y tipos de servicios que se vislumbran o comienzan a entrar en funcionamiento. Aun siendo puntos muy importantes, no tratará de la incidencia de las redes de telecomunicación en la estructura de las sociedades modernas, de las que constituye el verdadero sistema nervioso, ni del papel decisivo de esas redes en el futuro como medio de comunicación entre ordenadores, dentro de organizaciones geográficamente distantes.

En Europa, al igual que en el resto del mundo, el servicio telefónico domina cuantitativamente sobre los demás, algunos de los cuales se prestan también a través de la red automática conmutada de telefonía (RAC). En España, a finales de 1980, había más de 7 millones de líneas telefónicas instaladas, lo que representaba cerca de 12 millones de aparatos telefónicos. Aunque las cifras relativas a los servicios de transmisión de datos o de textos sean sensiblemente inferiores, no por ello dejan de ser significativas al estar dedicadas, en su inmensa mayoría, a comunicaciones entre compañías y departamentos gubernamentales. El crecimiento anual acumulativo que se prevé en los próximos años gira en torno al 5 por ciento para el servicio telefónico, en tanto que al resto de servicios se les augura crecimientos que se sitúan entre el 20 y el 30 por ciento. (Cuarenta años antes, había instalados sólo 327.000 aparatos; más de dos millones y medio en 1965 y, $7.836 \times 10^3$, en 1975.)

A diferencia de lo que ocurre en los Estados Unidos, en Europa las compañías que suministran los servicios públicos de telecomunicación suelen ser ministerios o ramas de la administración pública, que engloban correos y telecomunicación dentro del mismo organismo. En España son dos las entidades que se reparten ese servicio público: la Dirección General de Correos y Telecomunicación (DGCT) y la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE); la primera explota los servicios de telegrafía, télex y conmutación de mensajes; la segunda se ocupa de telefonía y transmisión de datos, si bien lo último no lo explota en régimen de monopolio. La DGCT es una entidad de carácter público; la CTNE, una compañía privada cuyo principal accionista es el estado.

Hay también redes de carácter privado para actividades específicas: ferrocarriles, compañías eléctricas, de radiodifusión y televisión, aéreas y otras; en general, la mayoría de las sociedades comerciales e industriales poseen una centralita telefónica o sistemas de intercomunicación que extienden el uso de los servicios hasta el punto de trabajo. En esta última área es donde se espera un crecimiento mayor, en cantidad y variedad, a lo largo de los próximos años.

Toda red de telecomunicación se estructura en varios niveles: los terminales que atienden los deseos del usuario, bien sea de telefonía o de datos; el bucle local, constituido normalmente por un par de hilos, desde la casa del abonado hásta la central terminal más próxima; las centrales terminales, de tránsito o internacionales, que son los equipos encargados de conectar al abonado o un enlace con cualquier otro; y los sistemas de transmisión que, en largas distancias, transportan múltiples comunicaciones por una misma vía (cable coaxial, microondas, satélite u otros).

Para cubrir el servicio de télex, cuyo crecimiento anual es superior al 20 por ciento, la Dirección General de Correos y Telecomunicación ha establecido una red télex con centrales terminales en 50 poblaciones, 6 centrales de tránsito para interconexión nacional e internacional. Todas estas centrales son automáticas, es decir, no necesitan de la manipulación humana para cursar el tráfico. Y son también digitales, en el sentido de que las informaciones transmitidas constituyen estados discretos de una tensión o una corriente. Las últimas instaladas son, asimismo, de tipo electrónico, es decir, utilizan ordenadores y componentes electrónicos para cursar el tráfico; sus antecesoras eran de tipo electromecánico, donde el componente básico era el relé. Los medios de transmisión son comunes en su mayor parte con los de telefonía.

Para dar el servicio telefónico,

**DE LOS SISTEMAS ELECTROMECANICOS A LOS ELECTRONICOS: tal es la historia reciente de las telecomunicaciones. En la fotografía superior de la página precedente tenemos una vista de una fábrica de equipos de telecomunicación de tipo electromecánico. La interconexión entre los distintos componentes (especialmente relés) se hace por medio de hilo enrollado que se conecta manualmente. En los sistemas electrónicos (*abajo*), la interconexión se hace mediante circuitos impresos con menor cantidad de mano de obra en su fabricación. La ilustración recoge una placa de circuito impreso donde se aprecian varios circuitos de alta integración (LSI) diseñados exclusivamente para un sistema de conmutación digital. Posee 11.500 transistores y 1152 bits de memoria, amén de 64 terminales. Mide sólo 5,9 por 5,9 mm.**

| SERVICIO | P A I S | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | BELGICA | FRANCIA | ALEMANIA | ITALIA | ESPAÑA | REINO UNIDO |
| TELEFONO | 2300 | 14.000 | 19.200 | 13.400 | 10.500 | 25.000 |
| TELEX | 19 | 85 | 130 | 44 | 21 | 100 |
| DATOS DE BAJA VELOCIDAD EN LA RED TELEFONICA (RAC) | 3 | 20 | 95 | 18 | 3 | 150 |
| LINEAS ALQUILADAS (REDES PUNTO A PUNTO) | 6 | 40 | ND | 56 | 12 | 250 |
| CONMUTACION DE PAQUETES (RETD EN ESPAÑA) | — | 1 | EN PRUEBAS | EN PRUEBAS | 8 | EN PRUEBAS |
| CONMUTACION DE CIRCUITOS PARA DATOS | — | 2 | 3 | 3 | — | — |

**DIMENSION DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACION en Europa. Los datos muestran la posición dominante del telefónico sobre el resto de los servicios, algunos de los cuales también se prestan a través de la red automática conmutada de telefonía (RAC), e incluyen servicios como la transferencia de alarmas codificadas. Otros, aunque cuantitativamente no muy numerosos, como los servicios de transmisión de datos a través de la red especial de transmisión de datos (RETD), tienen un gran interés social, al interconectar, por ejemplo, las sucursales bancarias con el ordenador central del banco. Las redes punto a punto son conexiones permanentes entre dos puntos distantes haciendo uso de los cables y medios físicos de transmisión. (Los datos reseñados son de 1979.) Las cifras deben entenderse multiplicadas por mil.**

CTNE dispone de una planta cuyo valor en 1980 era de 1,4 × $10^{12}$ pesetas. Está constituida por millares de centrales, terminales y de tránsito, automáticas en su casi totalidad (queda sólo un 1 por ciento de líneas manuales); de tipo electromecánico en su mayor parte y analógica en su estructura, puesto que la voz se traduce en variaciones de corriente eléctrica por el micrófono del aparato telefónico y así es conmutada en las centrales, terminales y de tránsito, y transmitida mediante multiplex, por división en frecuencia o tiempo, a través de cables coaxiales, sistemas de microondas, satélites, cables submarinos y otros. (Se llama multiplex al procedimiento de transmisión que permite, a través de un mismo medio físico, varias comunicaciones a la vez.)

La técnica de transmisión en telefonía ha permanecido invariable a lo largo de los últimos cien años. Las ondas de presión acústica originadas por la voz varían la resistencia del micrófono y modulan la corriente que pasa por la línea del abonado, repitiendo, con bastante fidelidad, las variaciones de presión ocasionadas por la voz. La teoría de la información nos indica que, para transmitir una señal, basta con que se transmitan muestras de dicha señal tomadas periódicamente y con una frecuencia de muestreo superior al doble de la frecuencia más alta contenida en el espectro de la señal. Como el ancho de banda en frecuencia transmitido en telefonía es de 300 a 3400 hertz, basta con que se muestree una señal de voz a 8000 muestras por segundo (dos veces 4000, que es superior a la frecuencia superior de la banda de 3400), para que la señal pueda ser transmitida y reproducida sin merma alguna de información y fidelidad a la señal original. En 1937, el inglés Alec Reeves propuso que esa muestra de la señal podría ser transmitida en forma de un código numérico, que reflejase la amplitud de la muestra, y se enviase en forma binaria. Ocho bit son suficientes para cuantificar las diferentes amplitudes de la muestra sin merma de calidad. El desarrollo tecnológico de los años 40 a 60 no viabilizaba la expansión de este método, pero con el advenimiento de los transistores primero y los circuitos integrados después el método se extendió como sistema de transmisión interurbano y, hoy, a los centros de conmutación telefónica.

Esta forma de transmisión, llamada modulación por impulsos codificados (MIC), está destinada a desempeñar un papel destacado en las futuras redes y servicios de telecomunicación.

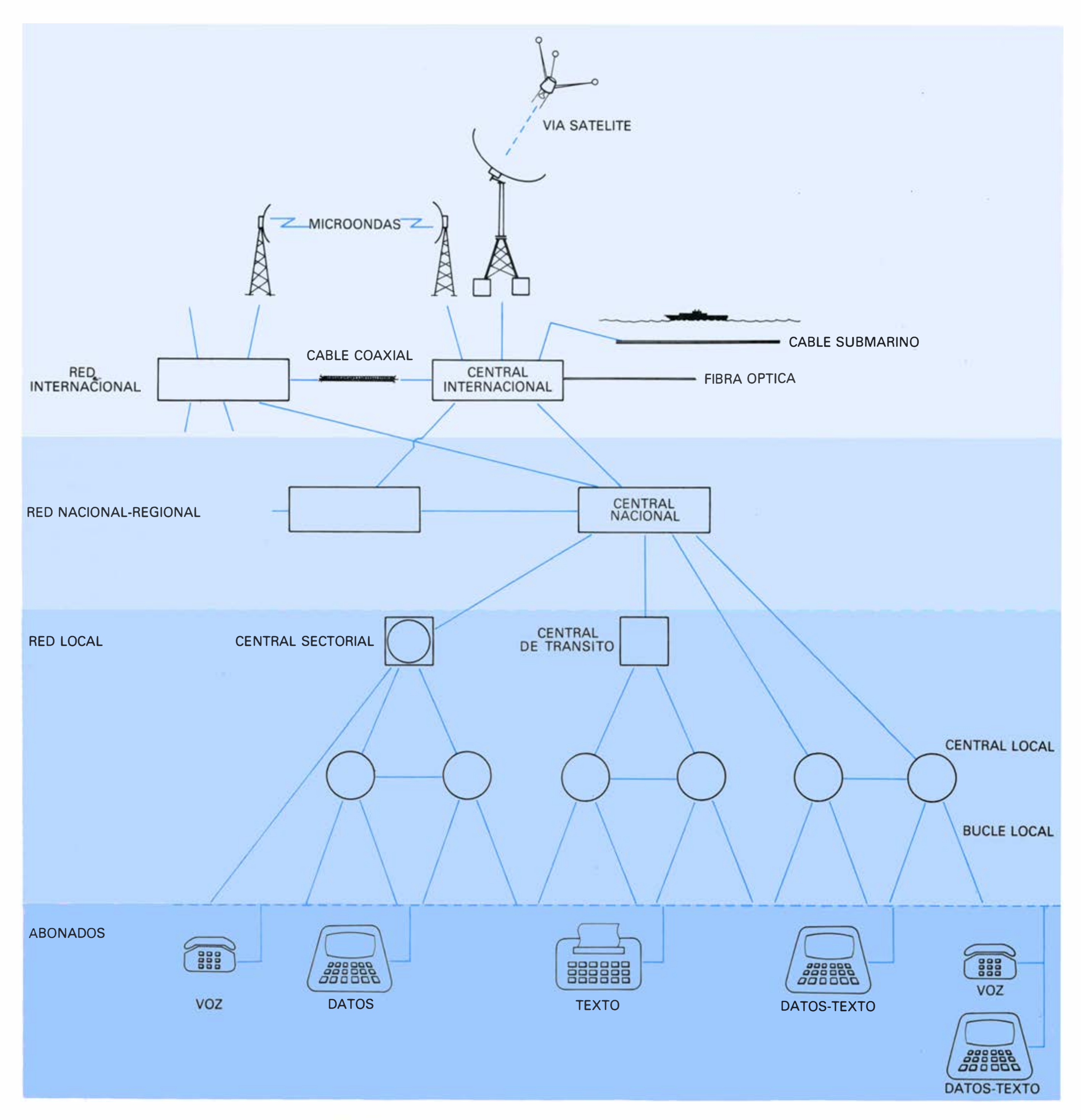
| | RELE | CIRCUITO INTEGRADO |
|---|---|---|
| PUERTAS LOGICAS EQUIVALENTES (MAXIMO) | 30 | 10.000 |
| VOLUMEN MEDIO | 50 $cm^3$ | 1 $cm^3$ |
| PESO | 300 gr. | 5 gr. |
| CONSUMO | 3 W | 0,1 W |
| VELOCIDAD (DEL ORDEN) | MILISEGUNDO | NANOSEGUNDO |
| MATERIA PRIMA | COBRE Y ACERO DULCE METALES PRECIOSOS EN CONTACTOS | SILICIO |
| PROCESO | SIMPLE | COMPLEJO |

**COMPARACION ENTRE LAS DISTINTAS CARACTERISTICAS del relé y las del circuito integrado. El primero consume más energía, es más lento en su funcionamiento, ocupa mayor volumen y pesa notablemente más. Se fabrica a partir de materias primas simples (hierro, cobre y alpaca) y su tecnología de fabricación es sencilla y está, por último, al alcance de países con moderado desarrollo industrial.**

La automatización de los equipos de conmutación comenzó hace ya varios decenios. Se fundaba en un elemento lógico de tipo electromecánico, el relé, que permitió el crecimiento continuado a lo largo de los años de la red telefónica mundial, al tiempo que menguaba drásticamente el número de personas ocupadas en cursar el tráfico entre abonados. En España, en 1965, de un total de dos millones de líneas telefónicas, sólo el 75 por ciento eran automáticas y se requerían cerca de cuatro personas por cada 1000 líneas para atender el tráfico. En 1980, de los ocho millones de líneas en servicio, más del 98 por ciento eran automáticas y se requería menos de una persona para atender el tráfico por cada 1000 líneas. Cifras que se tornan más espectaculares si nos fijamos en el tráfico cursado: en 1965, 176.071 × $10^3$ conferencias interurbanas y 1187 × $10^3$ conferencias internacionales: en el año 1980, 2.020.994 × $10^3$ conferencias interurbanas y 51.424 × $10^3$ conferencias internacionales.

Esta primera automatización del sector tuvo diversas consecuencias. En primer lugar, un aumento de la productividad, y, con ello, una subida notabilísima del número de abonados; en segundo lugar, un incremento de las capacidades de fabricación asociadas a la tecnología de tipo electromecánico, que emplea mucha mano de obra, aunque algunas fases de la fabricación se realizaran automática o semiautomáticamente. Ese proceso de desarrollo coincidió con un crecimiento económico generalizado y la disponibilidad consiguiente de recursos de capital. Comparado con la tecnología actual, el relé, que permitió la automatización de las centrales de conmutación, presenta muchos inconvenientes: consume más energía, es más lento en su funcionamiento y ocupa mayor volumen y peso. En cambio tiene las ventajas de fabricarse, mediante una técnica sencilla, a partir de materias primas simples (hierro, cobre y alpaca).

Hoy, las perspectivas son distintas. Y tiene que ver en ese cambio la introducción de la tecnología electróni-

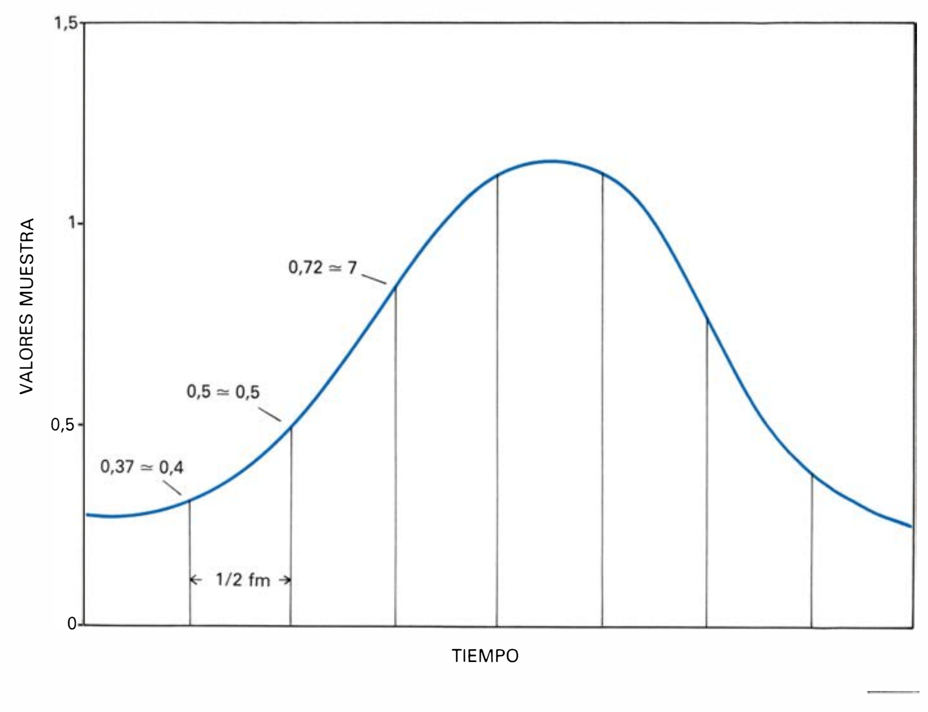


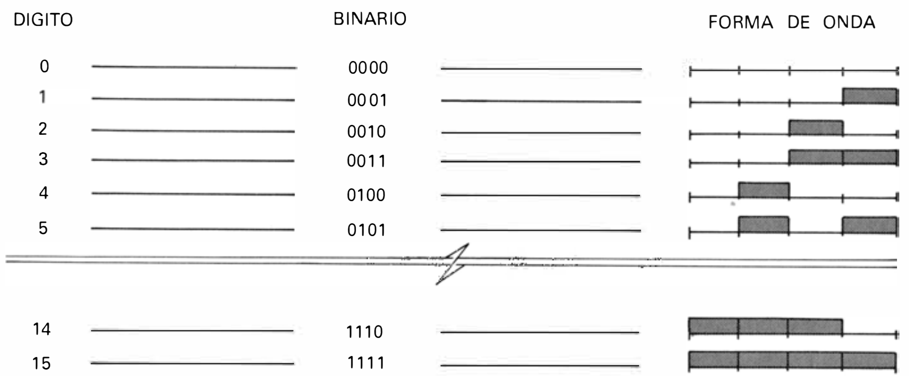

**ESTRUCTURA DE UNA RED DE TELECOMUNICACION. La red se configura en varios niveles: *a*) los terminales, que atienden los deseos del usuario, de telefonía o datos; *b*) el bucle local, constituido por un par de hilos desde la casa del abonado hasta la central terminal más próxima; *c*) las centrales terminales, de tránsito o internacionales, que son los equipos encargados de conectar un abonado o un enlace con cualquier otro; y *d*), los sistemas de transmisión, que en largas distancias, a través de una misma vía física (cable coaxial, microondas, satélite, etc.), transportan múltiples comunicaciones.**

ca, en especial la de circuitos integrados (CI), microprocesadores (MP) y otros circuitos de integración a gran escala (LSI) especialmente diseñados para telecomunicación. También la aparición de una demanda creciente de servicios de telecomunicación entre ordenadores o entre éstos y terminales presiona sobre el sector para abrir más el abanico de posibilidades a través de la conjunción entre la telecomunicación y la informática (la telemática).

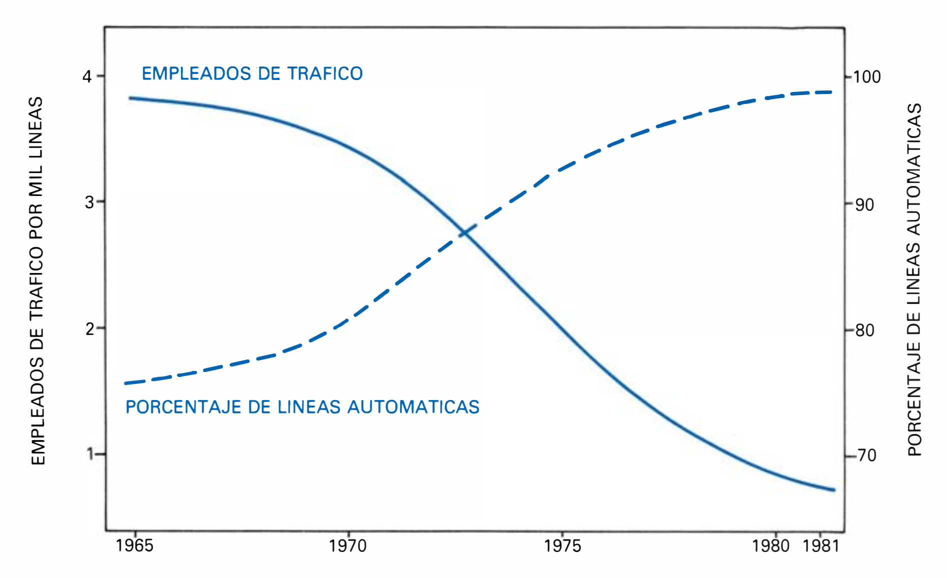
El crecimiento notable de los niveles de integración ha permitido pasar desde los transistores discretos, a finales de la década de los 50, hasta integrar 100.000 transistores o más en un solo componente electrónico. La tendencia hacia niveles de integración mayores no se ha detenido. Por contra, el coste por transistor ha sufrido una tendencia a la baja, desde el corto puñado de dólares que valía en 1960 hasta la centésima de centavo que vale hoy, para los niveles de gran integración.

Estos avances no son privativos del sector de telecomunicaciones, sino que afectan a otros campos: electrónica de consumo, ordenadores, automación, etcétera. Al propio tiempo, y controlados también con técnica electrónica digital, se han desarrollado una ingente cantidad de equipos de fabricación automática, que implican una severa reducción de las plantillas involucradas en la fabricación. Desde las máquinas de inserción automática de componentes, discretos o integrados, hasta los equipos de prueba automáticos o se-




**LOS SISTEMAS DE TRANSMISION por modulación por impulsos codificados (MIC) desempeñarán un papel de importancia creciente en las futuras redes y servicios de telecomunicación. Se basa en el teorema de muestreo, que establece que una señal limitada en su banda, que no contiene componentes espectrales mayores que la frecuencia *fm*, está determinada en forma única por sus valores en intervalos uniformes menores de la mitad de la frecuencia (*véase gráfico superior*). Cada uno de estos valores muestra se transmite en el sistema MIC en forma de un código constituido por un tren de impulsos (*parte inferior*).**



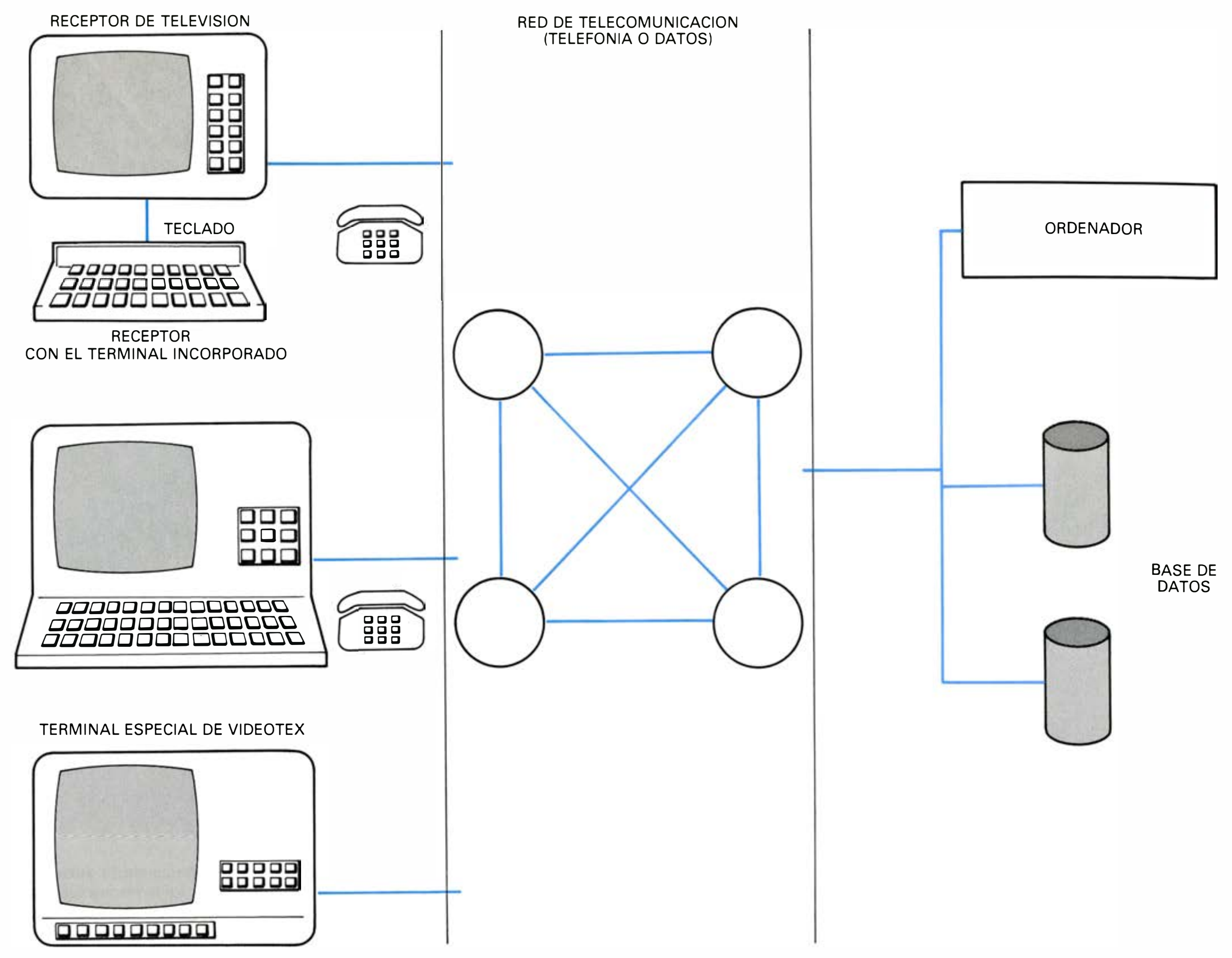

**INCIDENCIA DE LA PAULATINA INTRODUCCION de centrales de conmutación automáticas, de tecnología electromecánica y la posterior sustitución de la mayoría de centrales operadas manualmente. La productividad que se obtiene al automatizar tráfico aumenta por un factor superior a 4, mientras que la automatización pasa del 76 al 99 en 1981. Los datos se refieren a la red telefónica española.**

miautomáticos, pasando por las máquinas de soldadura por ola o por condensación. La fuerza laboral para producir una línea telefónica en una central ha pasado, de 14 horas con tecnología electromecánica, a 2,5 horas con la tecnología electrónica que ya empieza a operar. En ese orden de cosas, las fábricas necesitarán solamente al final de la transición tecnológica de un 15 a un 20 por ciento de la mano de obra que empleaba la tecnología electromecánica.

Estas técnicas no están al alcance de cualquier país, sino que son privativas de los países muy desarrollados. Y ello, por tres razones: *a*) la propia complejidad de los procesos; *b*) la velocidad con que esa técnica evoluciona hacia integraciones crecientes, que precisan fuerte inversión de capital y especialización profesional; y *c*), una elevada producción en serie para ser competitivo e introducirse en los grandes mercados internacionales. Ello determina que los países de desarrollo medio, como España, pierdan contenido de fabricación nacional en el producto, con lo que hay menor cantidad de valor añadido y empeora la balanza de pagos del sector.

La introducción de las nuevas tecnologías presenta dos retos a las fábricas de telecomunicación: por un lado, la pérdida de valor añadido, con una mayor dependencia de los países avanzados en esa técnica, al tener que considerar materia prima de elaboración del producto los complejos componentes electrónicos. Por otro, una reestructuración de las fábricas, que afectarán a las plantillas, al sustituirse el conexionado por hilos, realizado manualmente, por circuitos impresos y procesos automáticos de fabricación.

Doble también es la incidencia en las compañías de servicio (compañías o administraciones de telecomunicación). En primer término, ha hecho desplazarse el coste de los sistemas y equipos de analógicos a digitales (en forma binaria), ya que la tecnología electrónica de alta integración maneja más adecuadamente señales digitales. La digitalización simplifica las redes de telecomunicación: transmisión, conmutación y control por ordenador utilizan todos una tecnología común, lo que a su vez puede llevar a nuevas reducciones de coste. Cabe destacar, en segundo término, la aparición de tráfico de carácter puramente digital, como es la comunicación entre ordenadores, o entre éstos y sus terminales. Para atender a esta demanda, las compañías de servicios han creado redes especializadas di-



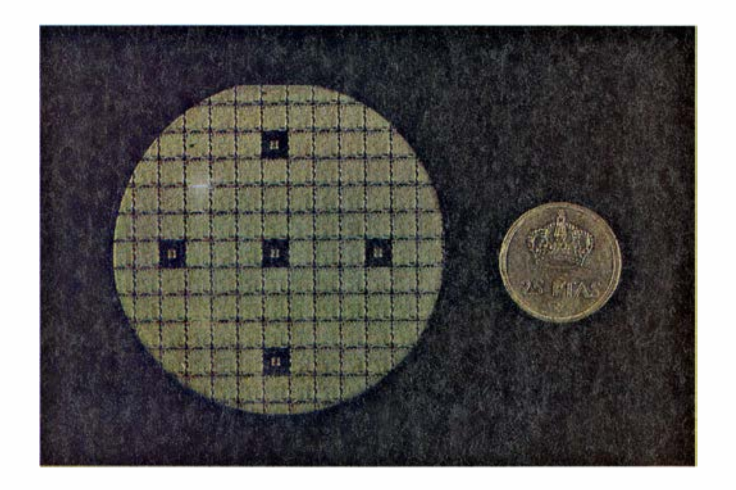

**ES EL VIDEOTEX UN SERVICIO PUBLICO en fase de experimentación que se pretende tenga alcance internacional, de acuerdo con la recomendación F.300 del Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (abreviado CCITT). Mediante un terminal, que consiste en los actuales aparatos de televisión, a los que se les añade un teclado y el equipo de comunicación adecuado, se puede acceder a través de la red telefónica o la red de datos, según países, a la memoria de un ordenador. La selección de la información se efectúa por medio de un teclado y su visualización en la pantalla del televisor.**

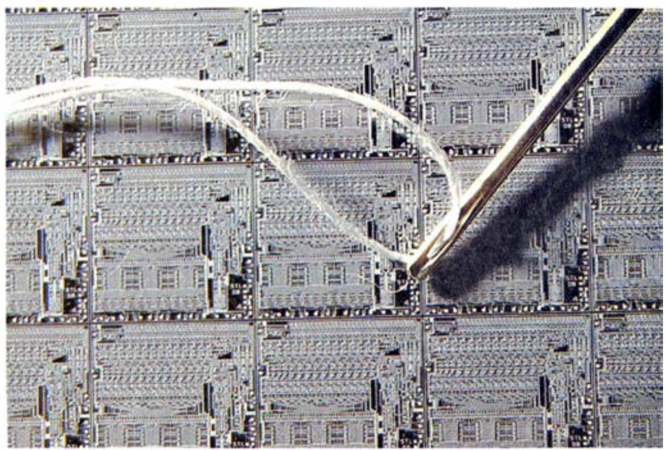
gitales para la transmisión de datos; tenemos un ejemplo de ello en la red especial de transmisión de datos (RETD, actualmente IBERPAC) de la CTNE, en donde ya no es necesaria la conversión a un sistema analógico de transmisión, lo que permite mayores velocidades. Estas redes especializadas en la comunicación de datos han dado lugar a dos modos de conmutación; en la conmutación de circuitos, una vez establecido un camino, éste permanece asignado hasta que finaliza la transmisión. En la conmutación de paquetes, los mensajes se parten en pequeñas unidades llamadas paquetes que son enviados independientemente de un nodo a otro de la red hasta alcanzar su destino.

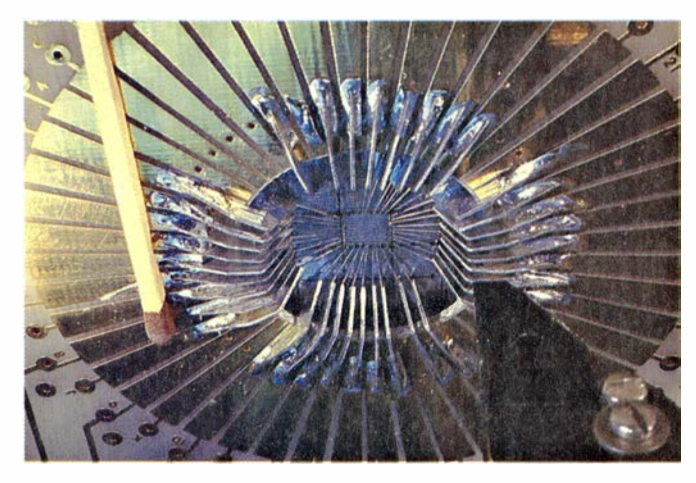
La digitalización de la transmisión y la conmutación permitirá ir convirtiendo la actual red telefónica de analógica a digital, formando una red digital integrada (RDI). Este proceso será lento, entre diez y veinte años, puesto que las instalaciones anuales de nuevo equipo son del orden de un 5 al 10 por ciento del actualmente instalado. La RDI proporcionará caminos de transmisión de al menos 64 kilobit por segundo entre centrales terminales. Para que los abonados telefónicos obtengan un máximo de ventajas de esta red será necesario extenderla hasta la casa del abonado con una línea digital y sustituir el actual aparato telefónico por otro de múltiples usos, que integre servicios para voz y para no voz (datos.) Este tipo de red completamente integrada recibe el nombre de red digital de servicios integrados (RDSI).

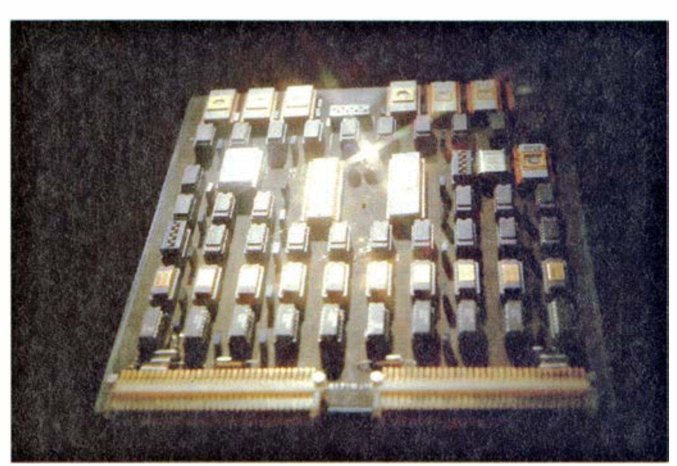
Durante un largo período de transición tendrán que funcionar conjuntamente la actual red, la RDI, la RDSI en formación, las redes especializadas exclusivamente en datos (TELEX y RETD) e incluso otras redes que sea necesario establecer para atender a las nuevas necesidades de fábricas y oficinas. Por medio de estas redes es posible establecer unos nuevos servicios. Entre los servicios de no voz que se espera tengan mayor difusión están: el videotex, teletex, facsímil, servicio de alarma y datáfono. No son los únicos. Las posibilidades de servicios de medición a distancia (telemedida), procesamiento a distancia (teleproceso) y otras transmisiones de datos por conmutación de circuitos o conmutación de paquetes desempeñarán un papel destacado, si no por la difusión conseguida, sí al menos por su influjo en la sociedad.

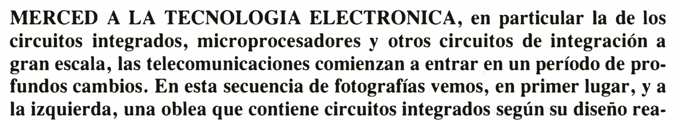
El videotex es un servicio público en fase de experimentación que se pretende tenga alcance internacional. Permite acceder a información almacenada en una base de datos, a través de las redes públicas de telecomunicación y utilizando receptores normales de televisión convenientemente modificados o provistos de dispositivos complemen-











**MERCED A LA TECNOLOGIA ELECTRONICA, en particular la de los circuitos integrados, microprocesadores y otros circuitos de integración a gran escala, las telecomunicaciones comienzan a entrar en un período de profundos cambios. En esta secuencia de fotografías vemos, en primer lugar, y a la izquierda, una oblea que contiene circuitos integrados según su diseño realizado en España; le sigue otra oblea (*arriba, a la derecha*), a mayor aumento, donde se aprecian los circuitos a punto de ser cortados. En la tercera fotografía (*abajo, a la izquierda*) se trata de un circuito, rodeado de puntas de contacto una vez cortada la oblea. A la derecha de la tercera fotografía aparece ya una placa de circuito impreso con circuitos integrados de uso general.**

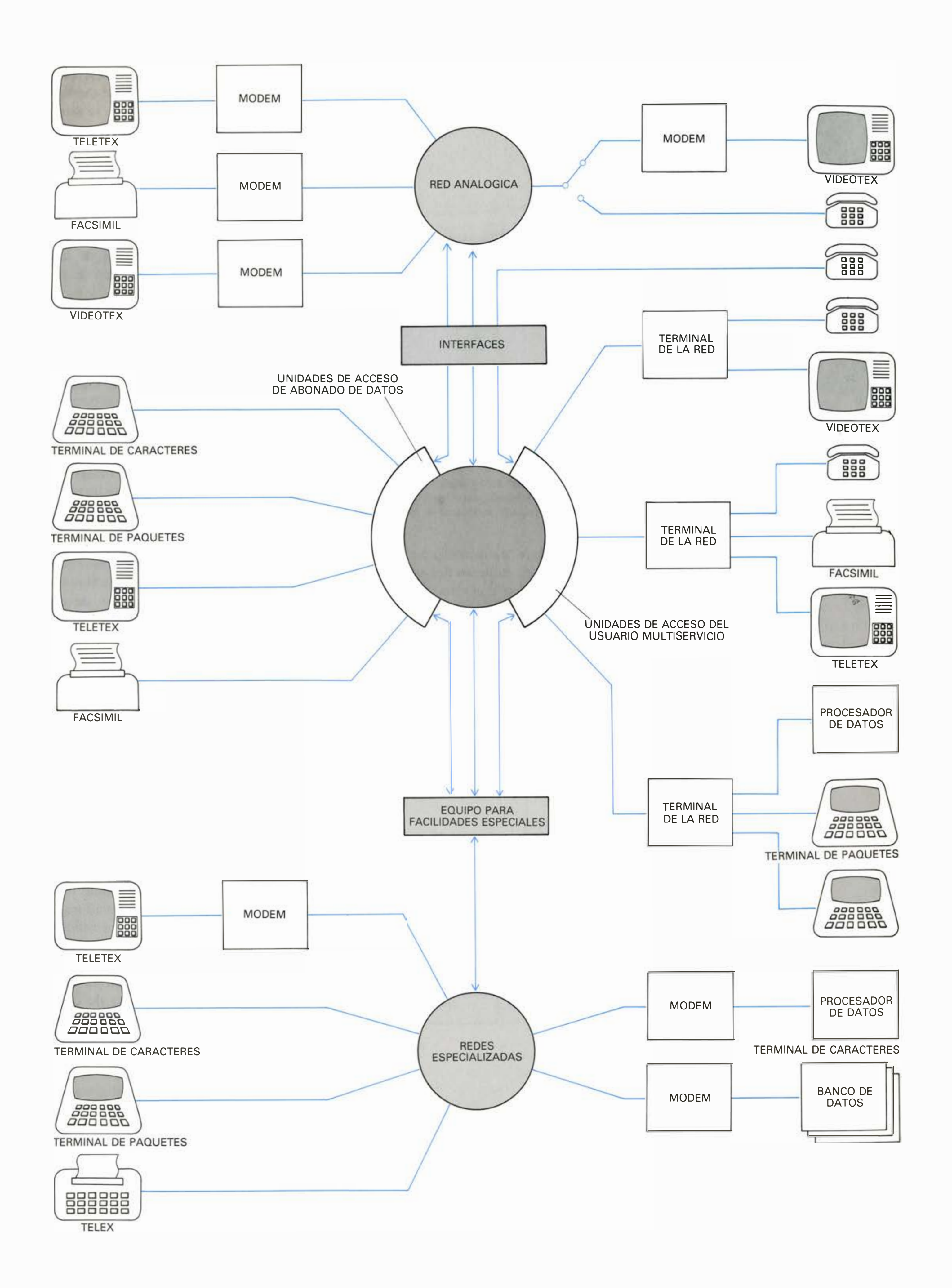
tarios para que sirvan de equipo terminal. Este servicio se dirige tanto a usuarios especializados, compañías, etcétera, como al gran público. (Con ocasión de los Mundiales de Fútbol España-82, la CTNE facilitó 40 terminales videotex a las administraciones telefónicas de 11 países hispanoamericanos, desde los cuales accedieron vía satélite a las estaciones de comunicaciones por satélite de Buitrago y Agüimes y, desde allí, a la base de datos videotex de Madrid; ésta fue consultada también desde 260 terminales instalados en diferentes puntos de la geografía española durante la celebración de los mundiales.) La información es de tipo gráfico o escrita y con presentación en el televisor, sobre temas de interés general, noticias, ciencia, deportes, y otros.

El teletex es un servicio público internacional que permite a los abonados intercambiar correspondencia, información de tipo alfabética y numérica, entre las memorias de los terminales, de modo automático a través de redes públicas de telecomunicación. Un terminal teletex engloba las funciones de máquina de escribir, procesamiento de textos, transmisión y recepción de textos. En cierto sentido será la máquina de escribir de la oficina futura, que realizará funciones de correo electrónico, dentro del ámbito internacional. Sustituirá al télex, del mismo modo que este último desplazó al servicio telegráfico. Aunque en su especificación no se ha pretendido que este servicio compita con los servicios públicos de datos, ésta sería una posibilidad suplementaria del teletex (por ejemplo, interrogar un banco de datos.) Muchas administraciones lo someterán a experimentación a lo largo de este año; se irá ofreciendo como servicio público a partir de 1983, según los programas de cada país.

El facsímil permite la reproducción de imágenes gráficas, manuscritas o impresas a distancia y de forma permanente mediante una técnica de exploración de líneas, a través de las redes de telecomunicación. El servicio puede prestarse entre estaciones de abonado, a través de la red automática conmutada (RAC), y se le denomina TELEFAX, o a través de la red especial, y se le denomina DATAFAX; también puede explotarse entre oficinas públicas de la administración, al estilo del servicio telegráfico, en cuyo caso recibe el nombre de BUROFAX.

De alcance internacional, está recibiendo un gran impulso merced a su potencia: transmite cualquier tipo de información, desde un texto hasta una página manuscrita; de ahí la amplia

**MIENTRAS SUBSISTEN LAS REDES ANALOGICAS Y LAS ESPECIALIZADAS, para la transmisión de datos, se iniciará la transición hacia una red digital integrada (*véase la ilustración de la derecha*). A través de la red analógica actual se pueden conectar equipos de datos, caracteres, etcétera, intercalando un MODEM (modulador/demodulador), que prepara las señales digitales para ser transmitidas en un entorno analógico de baja velocidad. A través de la red digital integrada, voz y datos se transmitirán en forma digital sin necesidad de modulación y a gran velocidad. Por las redes especializadas de conmutación de paquetes o circuitos, se cursa tráfico de datos que relaciona un ordenador con sus terminales.**


TELETEX
MODEM
FACSIMIL
MODEM
VIDEOTEX
MODEM
RED ANALOGICA
MODEM
VIDEOTEX
INTERFACES
TERMINAL DE LA RED
VIDEOTEX
UNIDADES DE ACCESO DE ABONADO DE DATOS
TERMINAL DE CARACTERES
TERMINAL DE PAQUETES
TELETEX
FACSIMIL
TERMINAL DE LA RED
FACSIMIL
TELETEX
UNIDADES DE ACCESO DEL USUARIO MULTISERVICIO
PROCESADOR DE DATOS
TERMINAL DE LA RED
EQUIPO PARA FACILIDADES ESPECIALES
TERMINAL DE PAQUETES
TELETEX
MODEM
TERMINAL DE CARACTERES
TERMINAL DE PAQUETES
TELEX
REDES ESPECIALIZADAS
MODEM
PROCESADOR DE DATOS
TERMINAL DE CARACTERES
MODEM
BANCO DE DATOS




**TERMINAL TELETEX formado por teclado, unidad de pantalla, impresora y minidiscos flexibles; podrá conectarse a cualquiera de las redes de telecomunicación (telex, telefonía, datos, privado) para realizar, entre otras, las funciones de correo electrónico, del que se ocupa in extenso el artículo siguiente.**

aceptación con que ha sido acogido en los países con lenguajes ideográficos (japonés). Los equipos terminales han hecho la transición de analógico a digital, con lo que este tipo de información se puede almacenar, reprocesar y transmitir directamente en forma digital. La velocidad de transmisión ha mejorado desde los seis minutos del grupo I (aparato analógico con una definición de cuatro líneas por milímetro) hasta los cuatro minutos del grupo II (aparato analógico pero que comprime la banda a transmitir) y el minuto escaso para los del grupo III (aparatos digitales, normalizados en 1980, dotados de medios para reducir la redundancia de la señal del documento antes de la transmisión). Los futuros aparatos del grupo IV, que se espera sean normalizados para 1984, serán digitales, evitarán la información redundante y estarán especialmente adaptados a los sistemas de transmisión de las redes públicas de datos. La velocidad de transmisión de una página será, entonces, del orden de segundos.

Existen ya los servicios de alarma, sobre todo en instituciones financieras. Se extenderá cuantitativamente y cubrirán condiciones como incendios, inundaciones, atracos y otros. Combinan un conjunto de sensores especializados y equipos para indicar la presencia de un riesgo de atención inmediata. Este servicio permite enviar una señal de alerta codificada, a través de las redes de telecomunicación, hacia un punto distante, donde se puede actuar en consecuencia con la naturaleza de la alarma.

El datáfono es un terminal orientado a la transferencia electrónica de fondos monetarios. Consta, en esencia, de un aparato telefónico con un lector de tarjeta de crédito de banda magnética. Se utiliza para autorizar el cargo cuando se compra con esa credencial.

Las consecuencias que se derivan del cambio a la tecnología electrónica son todavía mayores en las fábricas y oficinas que en las redes públicas. Sobre ellas repercuten el efecto conjunto de tres sectores en desarrollo; la informática, que suministra ordenadores y programas a menos precio y más eficaces; la mecanización de oficinas, que sustituye las máquinas que realizaban su función aisladamente manejadas por un operario (impresoras y copiadoras, entre otras), por máquinas controladas por microprocesadores y con capacidad de comunicarse información u órdenes de control; y, por último, la red privada de comunicaciones, en forma de centralita telefónica y sistemas de intercomunicación, que inicia su transición a digital y a integrar las comunicaciones de no voz (datos).

El sinergismo entre estos tres sectores replantea el trabajo realizado en fábricas y oficinas. Aquí vamos a abordarlo desde el punto de vista de las redes privadas de telecomunicación aplicadas al área local, es decir, una oficina, una fábrica o un conjunto de edificios interrelacionados funcionalmente. La centralita telefónica, encargada de

MUNDO DE NO-VOZ

TERMINAL DE DATOS
- PROCESADOR DE PALABRA
- ENTRADA DE DATOS
- FACSIMIL
- TELETEX

RAL

POSICION DE TRABAJO (INTELIGENTE)

ORDENADOR

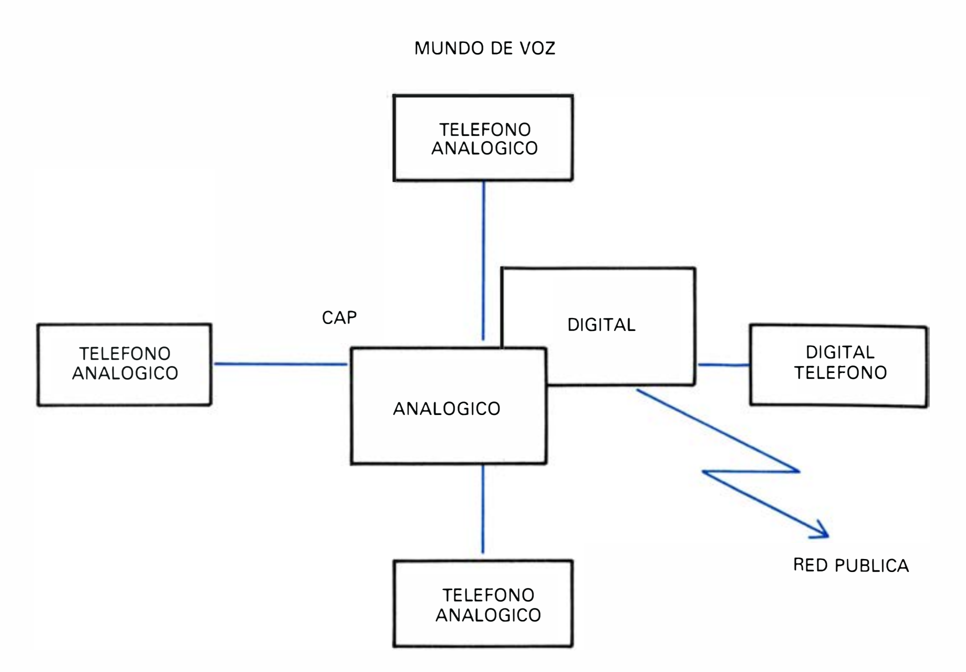
RED PUBLICA

- COPIADORA
- IMPRESORA

- MEMORIA DE MASA
- ARCHIVOS

**REDES DE AREA LOCAL, nacidos como medio de comunicación de las distintas máquinas que hoy en día se encuentran en las modernas oficinas, con diferentes topologías (anillo, estrella, bus) y diversos medios de transmisión (pares de hilos, cable coaxial, fibra óptica). Establecen un canal de comunicación de amplia banda (10 megabits por segundo o más) y comunican los datos entre diversos terminales.**

la comunicación vocal, extiende el uso de unas pocas líneas de la red pública a centenares de personas y suministra al mismo tiempo comunicaciones internas (dentro del edificio) sin necesidad de utilizar la red pública para este tipo de tráfico. Su estructura es radial, lo que significa que cada terminal está conectado mediante hilos físicos a la centralita automática privada (CAP). El tipo de conmutación es de circuitos: una vez establecido un camino físico, éste permanece durante el tiempo que dura la comunicación. La velocidad de transmisión es la asociada a un canal de voz (de 300 a 3400 hertz) en el caso de CAP analógica y de 64 kilobit por segundo, en el de una centralita digital. Los equipos modernos pueden conmutar datos, con el sistema de conmutación de circuitos o almacenando y reenviando posteriormente el mensaje. Pueden conectar, por tanto, terminales, ordenadores y acceso a banco de datos. Sus posibilidades de conexión exterior también se han ampliado ya que pueden conectarse a satélites, redes especiales de datos e incluso a otras centralitas para formar redes privadas. El terminal telefónico se está volviendo más complejo a medida que engloba servicios de voz y no voz.




**CENTRAL AUTOMATICA PRIVADA CAP. Encargada de las comunicaciones de voz dentro de las oficinas y fábricas, ha iniciado su transmisión a digital, incorporando dispositivos de la comunicación de datos. Cada terminal está conectado mediante hilos físicos a la CAP. Se trata de otro sector en desarrollo.**

Desde el punto de vista de las comunicaciones de datos, éstas han evolucionado, de las conexiones punto a punto (que utilizan MODEM y concentradores, por ejemplo), asociadas normalmente a una determinada aplicación o fabricante, a la actual red de área local (RAL). La RAL consta de un cable coaxial (caben otros soportes físicos de transmisión) según una topología de bus o anillo, que se extiende linealmente por las distintas dependencias de un edificio, y según un sistema de conmutación de paquetes (especializado para la transmisión de datos). Los protocolos de comunicación entre los terminales y la RAL se han normalizado internacionalmente y se continúa trabajando en la estandarización de los niveles superiores de protocolos, lo que permitiría la conexión de múltiples equipos y terminales (terminales de pantalla, fotocopiadoras, impresoras, archivos electrónicos de documentos, entre otros) con independencia del fabricante. Aunque nacidas para resolver el problema de comunicación del mundo de no-voz, los RAL podrán incorporar también voz en los casos en que sea necesario.

Con estas redes locales o con las centralitas futuras se podrán interconectar terminales específicamente diseñados para cada tipo de trabajo, terminales gráficos (como los utilizados para los diseños de los circuitos integrados), equipos de control de la maquinaria de las fábricas y un largo etcétera. Los equipos terminales asociados a estos servicios son de gran complejidad, para cuyo diseño habrá que recurrir a los microprocesadores y LSI. Algunos proyectos incorporan ya la integración creciente y adoptan estructuras capaces de acomodar nuevas generaciones de circuitos integrados.

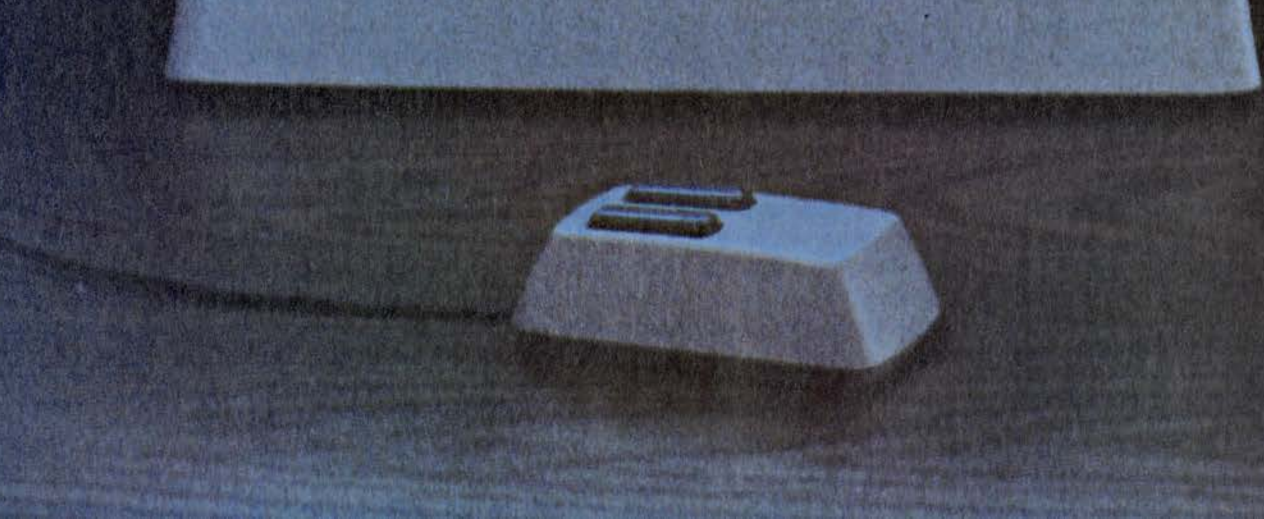
Algunos de estos servicios serán accesibles no solamente por redes de conexión punto a punto, sino también a través de los sistemas de radiodifusión, televisión y televisión por satélite en los que encontramos ya dispositivos de acceso a bancos de datos. Tal ocurre con el sistema "teletexto". Mediante un televisor provisto de adaptador, se puede seleccionar una de entre muchas páginas de información radiadas simultáneamente con el programa de TV.

Otra nueva tecnología, la transmisión mediante fibra óptica, basada en la transmisión de un haz de luz coherente por una fina fibra de silicio, irá sustituyendo paulatinamente a la transmisión eléctrica a través de hilos de cobre. Esta técnica aportará a la transmisión una anchura de banda casi ilimitada, permitiendo la comunicación de imágenes (vídeo), así como un abaratamiento de los sistemas actuales.

Los circuitos integrados duplican su capacidad aproximadamente cada tres años, reduciendo el coste por función (por ejemplo, el coste por bit de memoria), abriendo el camino a nuevos tipos de equipos, con mayor rendimiento a igualdad de precio, y reduciendo sensiblemente la vida útil de los equipos diseñados. Esta acelerada velocidad de cambio de la tecnología comporta varias consecuencias. Para el fabricante implica la necesidad de ofrecer nuevas generaciones de equipos, con períodos de vida cada vez más cortos y complejidad creciente, obligando a un mayor esfuerzo en investigación y desarrollo. Lo que, a su vez, desplaza recursos humanos y financieros a este sector de la compañía, con mayor riesgo financiero.

Desde el punto de vista de las administraciones públicas y compañías de servicios y usuarios, cuando adquieren un equipo saben que al poco tiempo puede aparecer en el mercado otro de mejor relación características/precio a un coste inferior al valor que señalan los libros de contabilidad del equipo instalado. Para corregirlo, serían necesarias depreciaciones más rápidas que también representan mayores costes.

Habida cuenta de las fuertes inversiones de capital para crecer y actualizar las redes de telecomunicación, el coste de capital representa un factor decisivo en la rentabilidad de los servicios ofrecidos, pudiendo convertirse en limitante de la velocidad de crecimiento e introducción de nuevos servicios, aunque la tecnología esté ya a nuestra disposición.



# Mecanización del trabajo de oficina

*La oficina es el punto principal de tratamiento de la información, factor éste dominante en la economía occidental. El paso del papel a la electrónica mejora la productividad, el servicio a los clientes y el grado de satisfacción en el trabajo*

Vincent E. Giuliano

La mecanización se aplicó primero a la elaboración y tratamiento de bienes tangibles: cosechas en agricultura, materias primas en minería y productos industriales en la fabricación. Hoy, la clase de trabajo que más se beneficia de la nueva tecnología es, sin duda, la elaboración de algo intangible: la información. A medida que las máquinas –basadas principalmente en el ordenador digital y en otros dispositivos microelectrónicos– se abaratan y adquieren mayor potencia, su uso para recoger, almacenar, manipular y comunicar información es cada vez más frecuente. Simultáneamente, las actividades relacionadas con la información van cobrando un interés creciente en la sociedad y economía. El grueso de la fuerza laboral se ocupa ya en tales actividades, y su proporción va en constante aumento. Es de prever que los cambios alterarán profundamente el lugar fundamental de tratamiento de la información: la oficina.

En el despacho u oficina, la gente lee, piensa, escribe y se comunica; allí se estudian propuestas y se hacen planes; se cobra y se decide el gasto; se gestionan negocios y acuerdos. La tecnología en que se apoyan estas actividades está cambiando con la rápida implantación de nuevas máquinas de procesamiento de la información, programas para operarlas y sistemas de comunicación para interconectarlas. La transformación implica no sólo el paso del papel a la electrónica, sino también un cambio fundamental en la naturaleza y organización del trabajo de gestión, en el uso de la información y de la comunicación e incluso en el significado de la oficina como espacio a donde acudir tantas o cuantas horas al día.

La mecanización de la oficina (entendida aquí en su más amplio significado de despacho, gabinete, negociado, consulta, oficina propiamente dicha, etcétera) comenzó en la segunda mitad del siglo XIX. En 1850, no se había abandonado del todo la pluma de ave por la plumilla de acero, y no había más secreto, podríamos decir, que el que consistía en aplicar la péñola al papel. Antes de que empezara el nuevo siglo, un buen número de nuevos aparatos y herramientas se habían buscado acomodo en la oficina: telégrafo de Morse, teléfono de Bell, máquina de escribir y dictáfono de Edison, por limitarnos a los más notables.

En 1850 había, tirando por lo alto, algunas decenas de máquinas de escribir, hechas a mano y únicas. Las máquinas de escribir se contaban entre los artículos de alta tecnología de entonces; pero podían hacerse en cantidades industriales y a un coste razonable con sólo adoptar y perfeccionar las técnicas de fabricación de precisión, con partes intercambiables, desarrolladas por Colt y Remington para la producción de revólveres y rifles durante là guerra civil norteamericana. A finales de la década de los noventa, había ya varias decenas de empresas que fabricaban distintos modelos de máquinas de escribir, teclados diferentes e ingeniosas soluciones mecánicas. (Algunas tenían incluso los tipos colocados en un elemento cilíndrico móvil, anticipándose así en setenta años a su tiempo.) Para el año de 1900 se habían vendido más de 100.000 unidades, que se construían a un ritmo anual de más de 20.000 máquinas. Conforme fue mejorando la precisión en el moldeado, elaboración y ensamblaje de las piezas metálicas, y menguó el coste de esos procesos, se fue generalizando la adquisición por parte de oficinas y hogares. La evolución del uso de la máquina de escribir recuerda lo que ahora está sucediendo –en el intervalo de sólo una década– con los ordenadores de oficina y los modelos de uso personal.

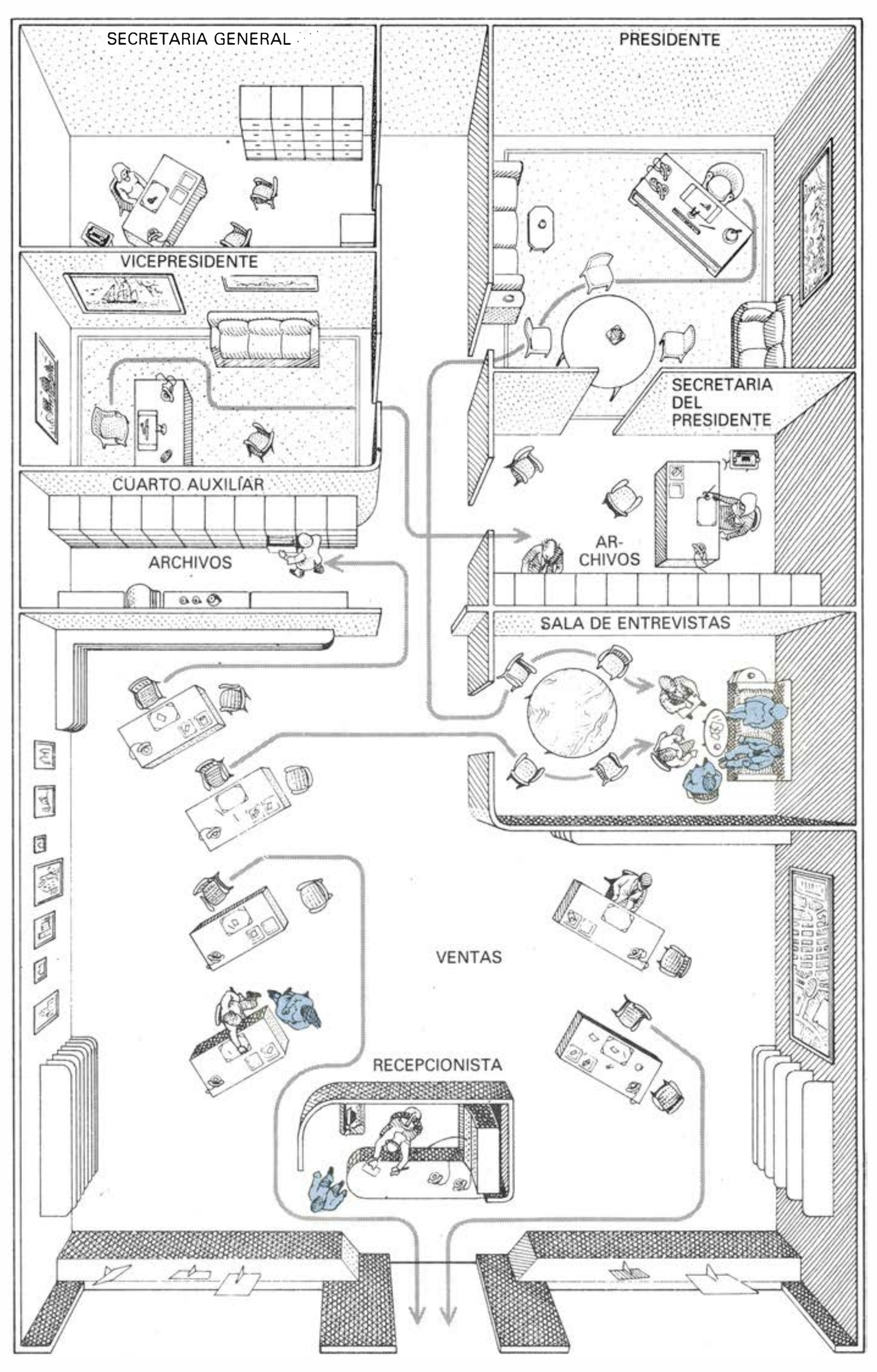
Con la llegada de la máquina de escribir creció el volumen de las oficinas, su número, la plantilla de los que trabajaban en ellas y la diversificación de las tareas. Comportó cambios también en la estructura social de ese departamento. El trabajo asignado a ese lugar continuaba en manos de los hombres, incluso después de la aparición de la mujer en la fábrica. (Recuérdese quienes constituían los empleados de Scrooge en la narración navideña de Charles Dickens *A Christmas Carol*.) La mecanización de la oficina fue una

**PUPITRE O ESCRITORIO ELECTRONICO, arquetipo del paso del papel a la electrónica, que es el elemento central de la mecanización del trabajo de oficina. El pupitre aparece en la pantalla del Xerox 8010 Star, un departamento o centro de gestión personal diseñado para hombres de negocios y profesionales. El Star ofrece servicios de ordenador, procesador de textos y generador de material gráfico; si se conecta a otros elementos de una red local se convierte en un sistema de información con acceso a los archivos electrónicos, impresoras y otros aparatos de comunicación de una oficina a otra o de una división a otra de la misma empresa. No se requiere preparación especial para manejar un departamento de gestión. La iconografía desplegada en la pantalla (*derecha*) forma una serie de dibujos que representan los objetos habituales de una oficina: archivadores, carpetas, documentos y bandejas de entradas y salidas. El operario pone en marcha su pupitre electrónico manipulando los iconos de archivo, donde se guardan carpetas y ficheros valiéndose de un teclado (que no aparece) y del "ratón" (*abajo*). El ratón se mueve por la superficie de una mesa (no electrónica) para controlar la posición de la flecha de la pantalla (*arriba a la derecha*). En el ejemplo ilustrado, un supuesto director comercial, de nombre Adams, teclea su nombre. Aparece su mesa de trabajo en la pantalla con la advertencia de que hay trabajo acumulado en la bandeja de entradas. Tras desplazar la flecha al cajón de entradas presiona el mando de "selección" del ratón y la tecla "abierto" del teclado, lo que hace aparecer la relación (*izquierda*) del contenido de la bandeja. Puede ahora seleccionar y resolver cualquiera de los apartados mencionados. Por ejemplo, puede requerir un informe mensual, revisarlo y obtener una copia impresa. Ilustración facilitada por R. F. Bonifield.**

fuerza de potencia suficiente para vencer las reservas con que se admitía a la mujer en un medio monopolizado por los hombres. Resultado directo de la introducción de la máquina de escribir, muchas mujeres entraron en oficinas [véase "Mecanización del trabajo de la mujer", por Joan Wallach Scott, en este mismo número].

A lo largo de la primera mitad de nuestro siglo se asistió a un perfeccionamiento de las máquinas y herramientas que operaban en las oficinas, así como a la incorporación de otras nuevas. Nos referimos, entre las novedades desarrolladas, al teletipo, la conmutación telefónica automática, la máquina de escribir eléctrica, las duplicadoras y copiadoras, sumadoras y calculadoras, magnétofonos para la grabación de dictados, prensas offset de tamaño apto para la oficina y equipos de procesamiento de datos con tarjetas de papel perforadas. Con los nuevos aparatos se expandió el volumen de las comunicaciones y el número de personas empleadas en tareas administrativas.

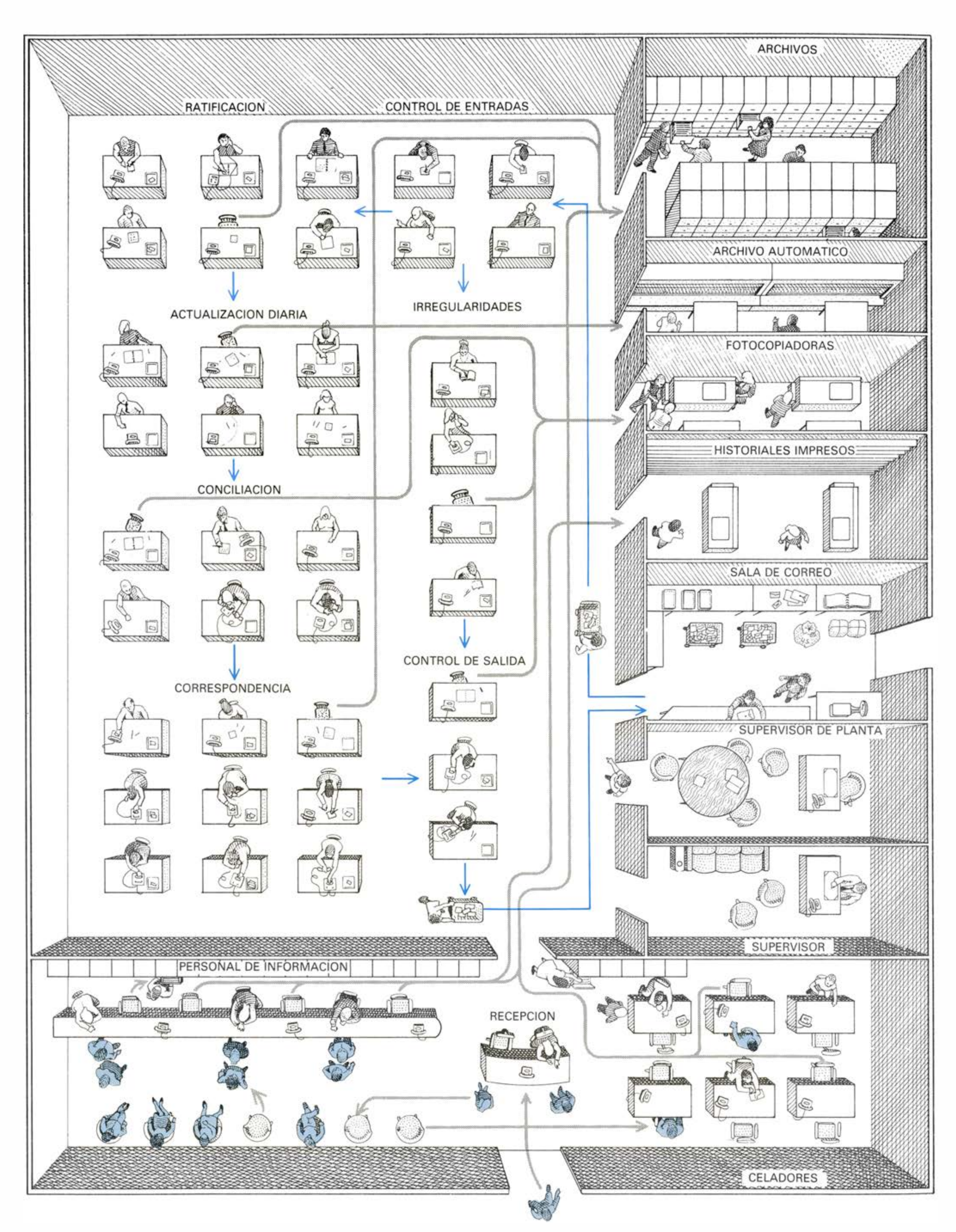
Desde una perspectiva actual, aquellos primeros ordenadores eran rudimentarios y muy caros. Mediada la década de 1960, la mayoría de las grandes empresas recurrían al ordenador para agilizar las tareas rutinarias: almacenamiento de los datos relativos a la nómina, emisión de talones, control de inventarios y seguimiento del pago de las facturas. Con los avances en los componentes del circuito de estado sólido, y con la microelectrónica más tarde, el ordenador redujo su tamaño y coste. Comenzaron a aparecer los terminales remotos, formados por un teletipo o un teclado y una pantalla, conectados generalmente con procesos de almacenamiento y tratamiento de datos de un ordenador central. Se produjo un constante progreso en la relación entre el coste y el rendimiento de los equipos de proceso de datos, que tuvo su reflejo en la expansión manifiesta de la industria electrónica. En las postrimerías del decenio de 1960 y primeros años del siguiente llegaron las copiadoras baratas, los miniordenadores, conmutadores electrónicos, procesadores de textos (sucesores de la máquina de escribir) y, terminando ya los años setenta, el microordenador.




**TRES ESTADIOS DE ORGANIZACION de la oficina. En opinión del autor son: preindustrial, industrial y era de la información. La organización preindustrial, aunque data de mediados del siglo XIX, domina todavía en despachos profesionales, pequeñas empresas e incluso en gabinetes de gestión colectiva. Se representan aquí las oficinas de una supuesta agencia inmobiliaria. La sistematización de la organización es mínima. Los empleados realizan sus tareas con bastante independencia, levántandose de un sitio a otro (*líneas grises*) siempre que han de consultar un fichero, concertar una venta (*color*) e incluso acompañar a los clientes a visitar una obra. Cada empleado puede tener su propio estilo de trabajo y se da importancia a las relaciones humanas. El modelo preindustrial sigue siendo válido en ciertas empresas de pequeña entidad. No presenta grandes dificultades la adopción de métodos de la era de la información.**

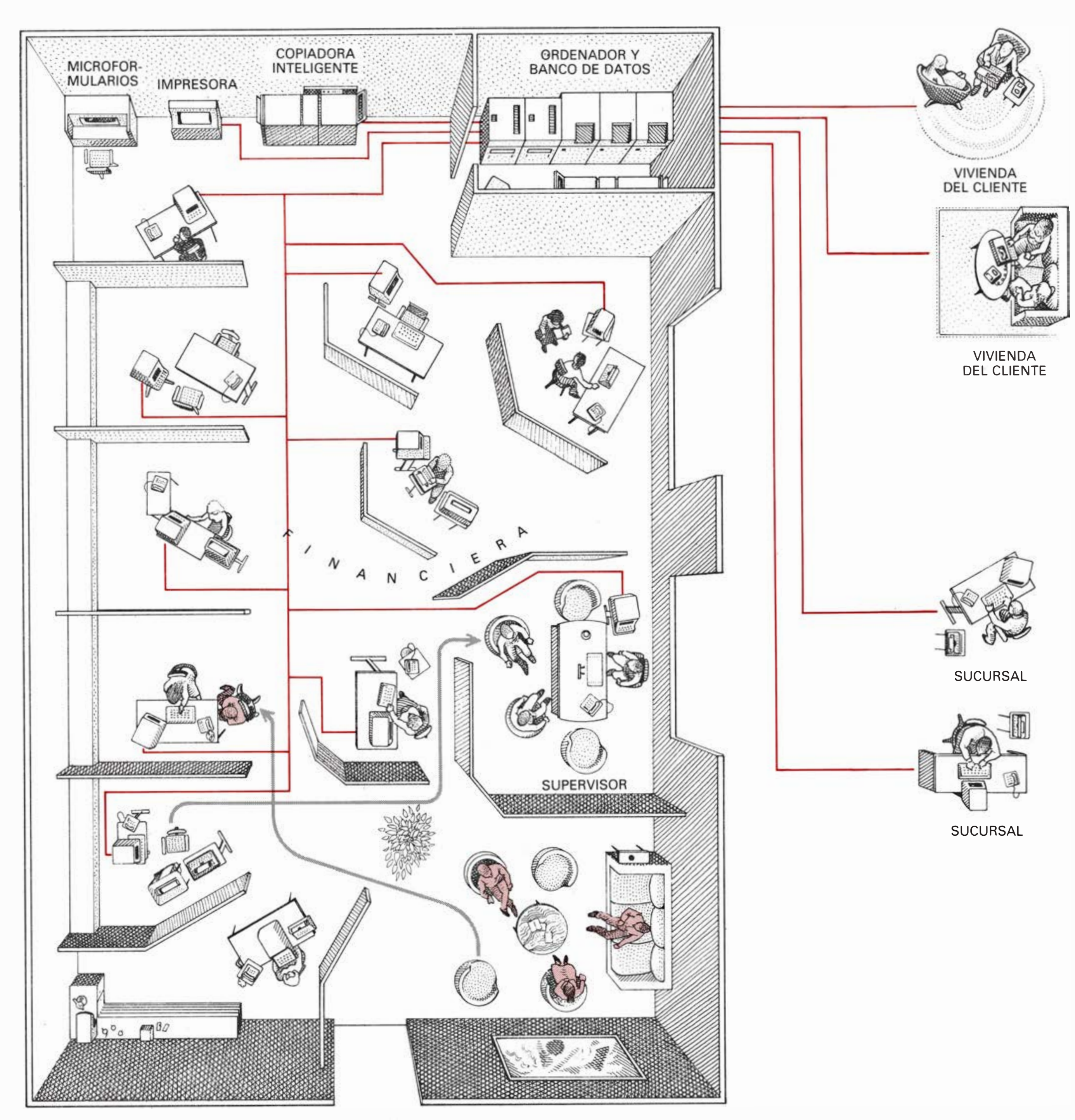
El antropólogo que acudiera hoy a una oficina se encontraría con muchas cosas que estaban allí 25 años atrás. La gente estaría leyendo, escribiendo a mano, haciendo frente a la correspondencia, hablándose en viva voz o por teléfono, tecleando la máquina de escribir y las calculadoras, dictando y archivando los papeles en armarios metálicos. Pero vería también cosas nuevas: muchos empleados manipulando consolas con teclas parecidas a las de la máquina de escribir, pero de las que se diferencian, en lo externo, por la pantalla que llevan incorporada o las piezas de impresión automática. En 1955 ante la máquina habría, en la inmensa mayoría de los casos, una mujer, fuera perforista o mecanógrafa. Hoy ha cambiado la situación: las máquinas realizan un sinfín de tareas y quien las mueve puede ser hombre o mujer, indistintamente.

Abundan, entre los teclistas de la oficina que imaginemos, las secretarias




**PODEMOS ASIMILAR LA OFICINA INDUSTRIAL, a una cadena de producción. Se ha potenciado en empresas que deben resolver un elevado número de transacciones, como es el caso de este departamento de reclamaciones de una compañía de seguros. El trabajo está fraccionado y es repetitivo. Los documentos entran a la cadena de producción tras pasar por la sala de correo; la atraviesan y emergen por el extremo opuesto. Las flechas de color indican el sentido del flujo. Los sucesivos grupos de oficinistas ejecutan progresivamente un paso del procesado del expediente; en general sólo abandonan su puesto de trabajo para consultar los ficheros o examinar los listados del ordenador. El personal de información atiende las solicitudes de los clientes; aunque puedan responder a determinadas cuestiones, rara vez están en posición de seguir las vicisitudes de un expediente y resolver un problema real.**

que manejan la correspondencia, para su preparación o corrección, en los procesadores de textos. Hay otros que operan terminales de ordenadores. Los directivos comprueban allí, sobre la marcha, la última información llegada acerca del estado de la producción, recogido en una base de datos del ordenador central de la empresa. Los economistas, puede vérseles, están enfrascados en sus modelos econométricos, para los que recurren a los programas e información de una oficina de servicio comercial a nivel internacional. Los bibliotecarios trabajan en terminales conectados a una red nacional que fusiona los catálogos de miles de bibliotecas asociadas. En esa oficina ideal, abogados y asesores jurídicos utilizan los terminales conectados con un centro donde se archiva el texto íntegro de las resoluciones judiciales tomadas por cualquier instancia. Y si esa oficina fuera de una compañía aérea, o de una agencia de viajes, los terminales servirían para reservar plazas o comprobar enlaces. Hay ordenadores de uso personal, de los que se sirven ingenieros, científicos y empresarios para resolver los cálculos que les interesan, analizar datos, plani-




**EN LA OFICINA DE LA ERA DE LA INFORMACION, al hacerse uso de una nueva tecnología, se manejan grandes volúmenes de información compleja, sin perder los valores de la oficina preindustrial. Se representa aquí un departamento de reclamaciones. Cada agente dirige un departamento de gestión conectado (*líneas de color*) a un ordenador que mantiene al día todos los registros de los clientes. Cada empleado realiza por tanto todas las funciones del proceso de un grupo de clientes, en vez de repetir una misma operación para muchos clientes. La decisión a tomar en un momento dado se verifica de inmediato. Los formularios están siempre al día y las cartas se redactan en los mismos departamentos de gestión que dan acceso a los datos almacenados; ambos se imprimen automáticamente. Los agentes que visitan clientes o delegaciones de la compañía disponen de los mismos medios valiéndose de ordenadores portátiles o personales enlazados a la red (*derecha*). El trabajo es más interesante, mejora el servicio de cara al público y se recortan los gastos.**

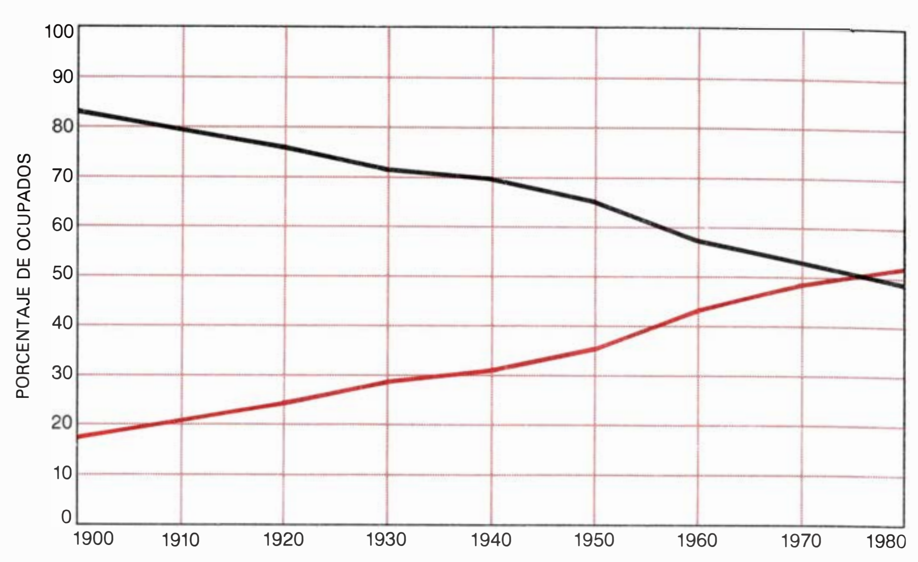
ficar operaciones y otras múltiples tareas.

Los usuarios de terminales y pequeños ordenadores pueden comunicarse entre sí y con sus oficinas centrales a través de una red de correo electrónico, de entre las varias que existen hoy en países como los Estados Unidos. Son numerosísimos los que acuden a él, no sólo en los negocios, sino para asuntos particulares, en casa, en el taller o de viaje. (Este artículo que está leyendo el lector lo escribí con un ordenador portátil en mi casa, en un hotel de Puerto Rico y en una finca de descanso en New Hampshire. He recibido la información requerida de ficheros personales almacenados en el ordenador central de mi empresa y he verificado partes del texto con la colaboración de compañeros de trabajo a través del correo electrónico. Todavía más, para su traducción al español se ha recurrido también a un procesador de textos.)

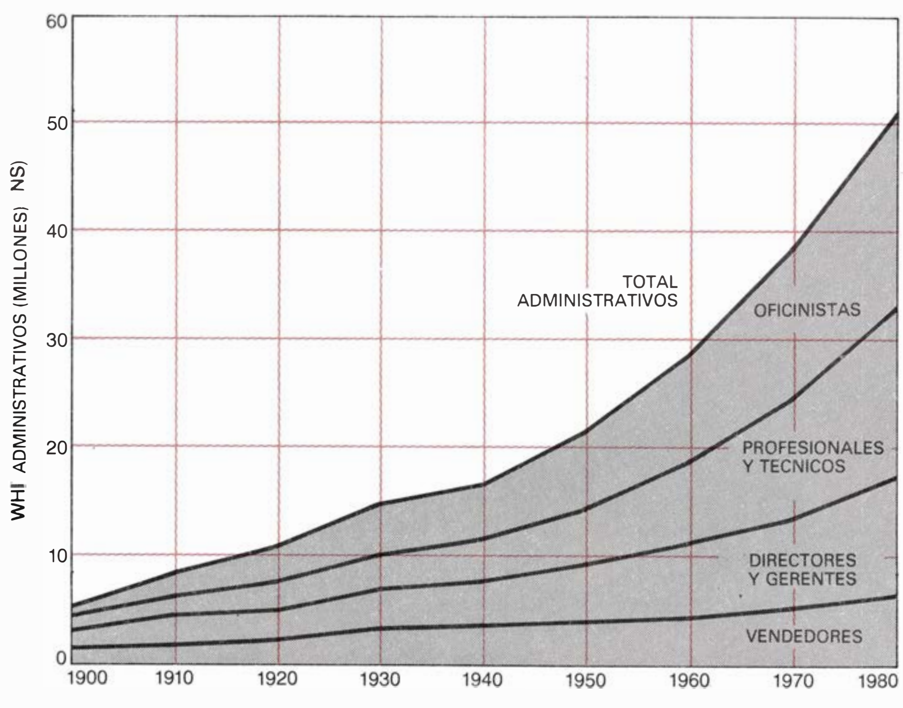
Todos esos pasos significan un cambio profundo en la forma tradicional de realizar el trabajo de oficina, que se fundaba, sobre todo, en el papel, la pluma, el cartabón y la regla de cálculo; hoy el trabajo a cumplir depende de múltiples dispositivos de teclado y pantalla y puestos de gestión o departamentos. Un departamento de esos puede o no disponer de su propio ordenador interno, pero en última instancia estará conectado a otro central (o a varios), a bases de datos, sistemas de comunicaciones o cualquiera de los miles de servicios de soporte. Esos puestos de gestión más difundidos manejan hoy información escrita y numérica. No pasarán diez años sin que se generalicen las máquinas que tracen gráficos en color y almacenen y transmitan mensajes orales, como ocurre hoy en los departamentos de gestión más avanzados.

En la empresa Arthur D. Little, Inc., hemos llegado a la conclusión de que, para 1990, de un 40 a un 50 por ciento de trabajadores norteamericanos harán uso diario de los terminales electrónicos. Y es probable que, para entonces, haya 38 millones de puestos de trabajo implicados en las distintas clases de terminales: oficinas, talleres y fábricas y centros de enseñanza. En los hogares podría haber hasta 34 millones de terminales, aunque no se les saque todo el rendimiento. Por otro lado, se estima que el número de terminales portátiles, de aspecto similar a nuestras calculadoras de bolsillo, ronde los siete millones; la mayoría bastante baratos.

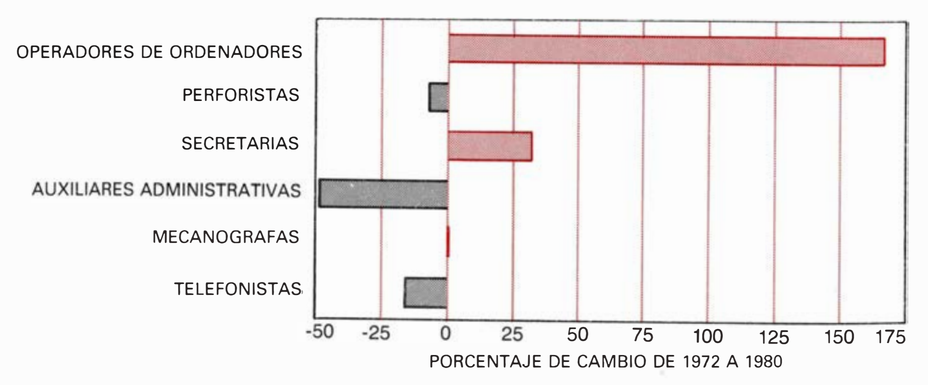
Hasta fechas recientes, la mayoría de los departamentos de gestión, los dis-




**PREDOMINIO de los administrativos en la economía americana. Se señala el porcentaje de población laboral con experiencia (desde 1900 hasta 1950) y la de todos los trabajadores (desde 1960 hasta 1980) que ocupaban puestos de oficina (*curva de color*) y puestos de taller, de servicios y agrícolas (*curva negra*).**




**VARIACION DE LA COMPOSICION del grupo de los trabajadores "de corbata". En 1900, la categoría menor era la de oficinistas propiamente dichos; hoy esa categoría domina. La mayoría de los trabajadores "de corbata" son oficinistas; de ahí el interés en mejorar la productividad de los despachos.**

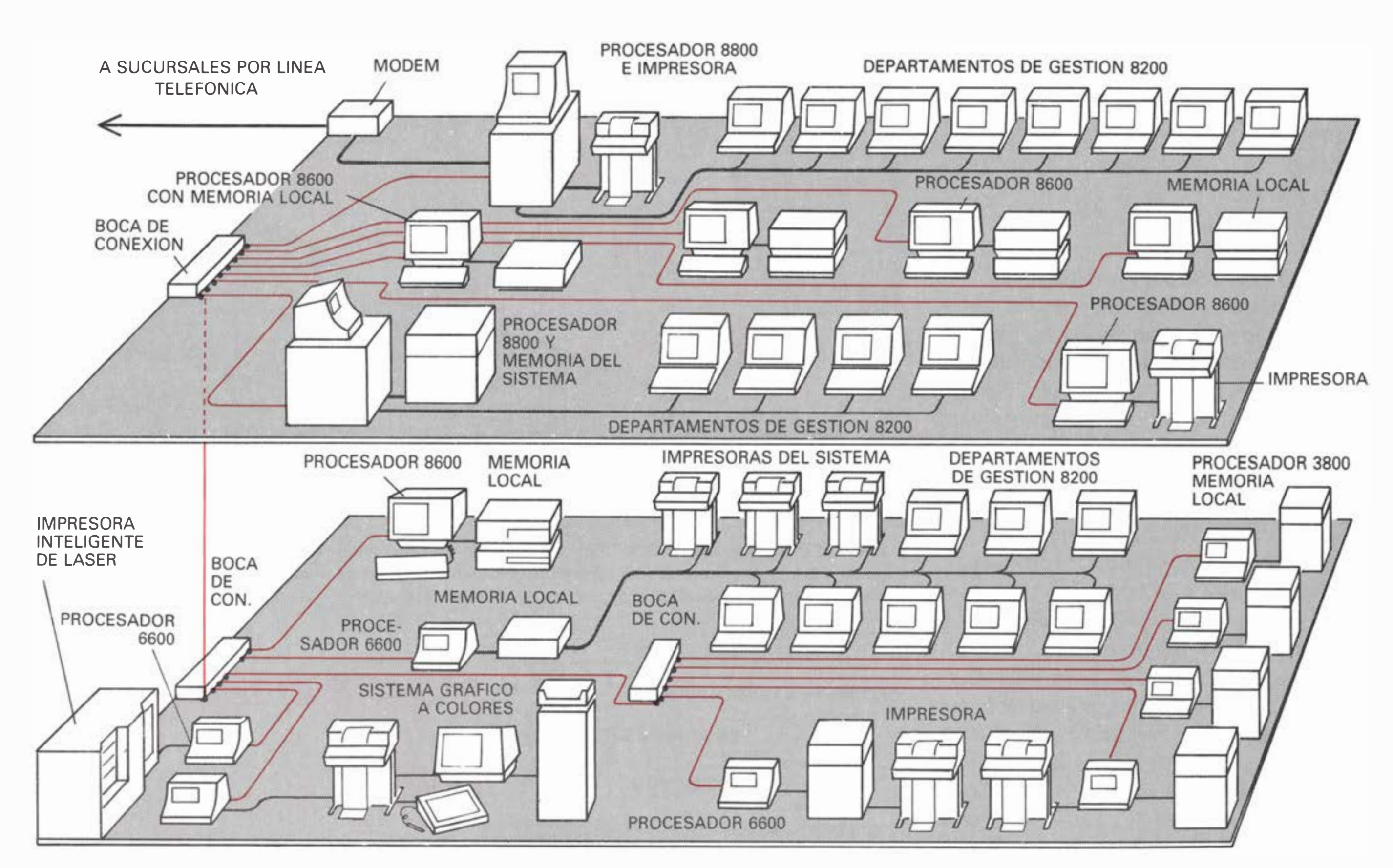



**VARIACION DE LA NATURALEZA del trabajo de oficina. Se refleja en el desplazamiento de empleos ocurrido entre 1972 y 1980 dentro de la categoría. Las perforistas preparaban la información de entrada a los viejos ordenadores. Las telefonistas están cediendo paso a los conmutadores automáticos.**

positivos que les daban soporte y los recursos de bases de datos se planeaban para desempeñar una sola función: preparar textos, obtener información del mercado de valores o sacar una reserva de un vuelo. Para sustituir la cinta telegráfica se introdujo el terminal del corredor de bolsa; para reemplazar la máquina de escribir, el procesador de textos. Los primeros terminales sólo servían, pues, para auxiliar a personas ocupadas en tareas más o menos repetitivas.

Pero ese departamento de gestión desempeña hoy múltiples funciones. El desarrollo experimentado por el soporte físico de la tecnología del procesamiento de la información y el soporte lógico, o programas ideados para cualquier sistema de ordenador, han permitido esa diversificación. Desde un terminal podemos acceder hoy a un sinfín de recursos y desarrollar otras tantas funciones. El corredor de bolsa, además de consultar las cotizaciones, puede obtener de la base de datos de su empresa la cartera de un cliente y recabar la información que precisa de una base de datos lejana sobre la tendencia a largo plazo de las cotizaciones en bolsa. Y ver en pantalla miles de datos de hoy y del pasado. El corredor puede emitir órdenes de compra o venta de valores, enviar mensajes a otros colegas y confeccionar gráficos y tablas que después se incluirán en el boletín que reparta a sus clientes. Esos utillajes no los encontramos únicamente en las grandes empresas. Los ordenadores personales de bajo coste y los servicios de telecomunicaciones que se le ofrecen al trabajador le facilitan a éste en mucho su tarea. La realidad es que muchos profesionales y empleados en despachos y oficinas de empresas medianas disponen de recursos, en cuanto a departamentos de gestión se refiere, superiores a los de no pocas grandes empresas, cuya mecanización de las oficinas ha sido lenta.

Nadie duda de que, para el año 2000, habrá nueva tecnología del tratamiento de la información, aunque no podamos prever del todo en qué consistirá. Se contará con mejores máquinas a costes más bajos, por supuesto. Hoy un ordenador personal del tamaño de una cartera portafolios tiene una potencia y capacidad de almacenamiento de información igual a las que tenía un ordenador central de 1955. Para medir de una manera aproximativa el rendimiento de los ordenadores pequeños nos fijamos en la "anchura" de la vía de datos, vale decir, el número de dígitos binarios procesados de una sola vez. La velocidad de cálculo se representa, también aproximativamente, por la frecuencia en megahertz del reloj electrónico que sincroniza todas las operaciones del procesador central. La capacidad de memoria se expresa en bytes; un byte es un grupo de ocho bits. La unidad utilizada es el kilobyte, que no equivale a 1000 bytes, sino a $2^{10}$, es decir, 1024. Sin remontarnos más allá de tres años, un ordenador personal potente tenía 48 kilobytes de memoria de trabajo y un procesador de ocho bits que funcionaba a una velocidad de un megahertz.



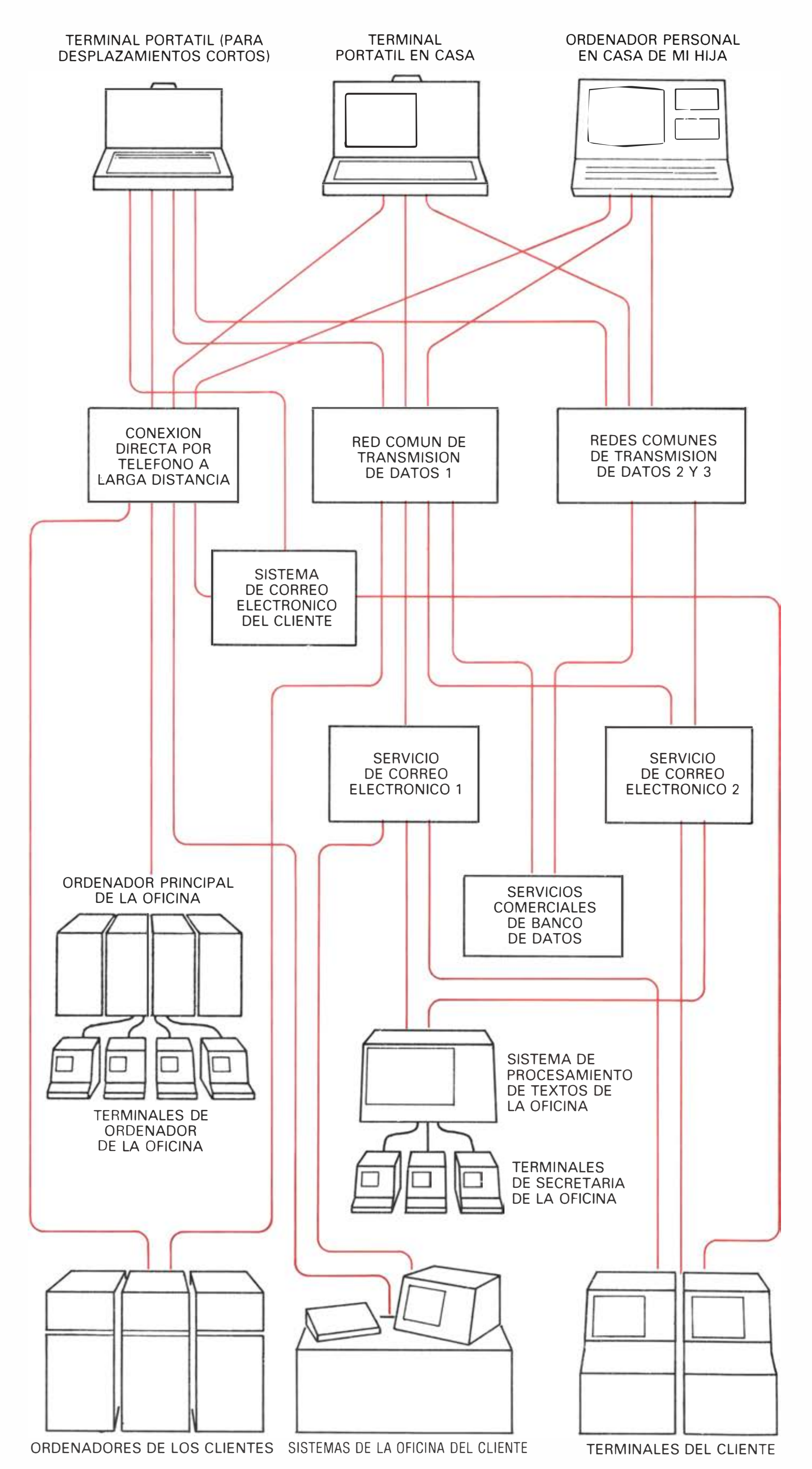

**RED DE AREA LOCAL, a través de la cual se ponen en comunicación múltiples departamentos de gestión de una empresa, explotando un mismo almacén de datos y equipo periférico. Se muestra el sistema ARC de la Datapoint Corporation, al que pueden enlazarse hasta 225 procesadores (ordenadores) mediante un tendido de cables coaxiales (*líneas de color*) y aparatos de interfaces. Cada procesador puede, a su vez, enlazarse por cable (*líneas negras*) a numerosos departamentos de gestión, unidades de almacenamiento y periféricos. Los procesadores van provistos de un "módulo de acoplamiento de dispositivos" (RIM, del inglés *r*esource *i*nterface *m*odule) por el que se conectan a un cable enlazado a una boca de conexión ("hub"); las clavijas de entrada y salida de la boca (*puntos negros*) pueden conectarse a un RIM o a otra boca. Todos los RIM poseen un número de identificación y atienden a cualquier transmisión dirigida a ese número. El tráfico se controla por medio de un esquema de turnos. Los procesadores controlan a su vez la red, transmitiendo un breve paquete de señales cuando reciben la orden del procesador inmediatamente anterior en la línea. En el sistema esquematizado, las fuentes compartidas por todos los aparatos de la red son unidades de almacenamiento en disco magnético, impresoras, un generador de gráficos de color y un modem, un aparato modulador-demodulador que transforma las señales digitales en señales acústicas para su transmisión por teléfono. Hay también unidades "locales" de disco para almacenar material destinado a un solo procesador. (Véase "Mecanización de las telecomunicaciones", por Severiano Aznar.)**

Hoy, con la misma cantidad de dinero podemos comprarnos una máquina de 256 kilobytes de memoria y un microprocesador de 16 bits que funciona a una velocidad de 4 megahertz o más. La capacidad de almacenamiento y la potencia del proceso seguirán su ritmo de avance –y su descenso de coste– geométrico. Para el año 2000, la memoria y la potencia del procesamiento serán tan baratas que perderán su carácter limitante en el coste del manejo de la información; podrá disponerse de ellas dondequiera sea necesaria su presencia. Los próximos veinte años contemplarán también la continua expansión de las comunicaciones de elevada capacidad, redes para el intercambio de información entre lo que venimos llamando departamentos de gestión y otros ordenadores, sin olvidar los bancos de datos centralizados. En su conjunto, todos esos avances facilitarán el acceso a la información, a la capacidad de procesamiento y a los servicios de comunicación, sin importar dónde esté el operador ni la hora del día.

La nueva tecnología incide inevitablemente en la organización del trabajo. Podemos definir tres fases evolutivas en la organización de las oficinas: preindustrial, industrial y era de la información. Cada período se caracteriza por la técnica empleada, su estilo de gestión, política laboral, jerarquía de mandos, niveles de rendimiento y relaciones personales entre los trabajadores y entre los empleados y los clientes.

Corresponden las dos primeras fases a los modelos de producción artesanal e industrial ya conocidos. Empezamos ahora a entender el período tercero. El funcionamiento de una oficina preindustrial dependía, en gran medida, del rendimiento personal, sin que la organización sistemática del trabajo ni las máquinas aportaran mucho. La oficina industrial ha venido organizando la plantilla de suerte que satisficiera las necesidades de un sistema de producción rígido y las exigencias de la maquinaria adquirida. La oficina de la era de la información ofrece la posibilidad de combinar sistemas y máquinas en beneficio de clientes y trabajadores.

Las oficinas de la mediana empresa, los gabinetes y estudios profesionales, los despachos de directivos y ejecutivos se encuentran, en su mayoría, en una fase preindustrial. En un contexto semejante se presta escasa atención a nociones tales como el flujo sistemático del trabajo, rendimiento y productividad de los métodos y tecnologías modernas de información. Los dispositivos




**RED PERSONAL DEL AUTOR,** que le permite trabajar fuera de su despacho oficial. Nace así una oficina "virtual", "abierta", las veinticuatro horas del día y allí donde va el autor. Su departamento de gestión puede ser un terminal portátil, uno de los dos ordenadores personales o bien el departamento de gestión de su despacho habitual. La comunicación entre los elementos distantes se establece mediante la red pública de teléfonos; para ello se emplean modems, o acopladores acústicos, portátiles, que transforman las señales digitales en acústicas. Un decodificador efectúa la operación inversa. El autor puede escribir o informar a cualquier terminal de su oficina o cliente. Puede hacer aparecer en pantalla material almacenado en las unidades de almacenamiento de su oficina o de un banco de datos comercial al que esté suscrita su compañía. Y enviar o recibir mensajes a través de dos servicios de correo electrónico.

de manejo de información que pueda haber allí (teléfonos, copiadoras e incluso procesadores de texto) podrían convertirse en la base del funcionamiento, pero falta un esfuerzo consciente para sacarles el máximo provecho. Suele existir un clima cordial entre los trabajadores; la lealtad, la comprensión y el respeto ocupan un lugar importante en la buena marcha de la empresa. De un trabajador se espera que aprenda bien su trabajo, que arrime el hombro y que pida ayuda cuando la precise. Los distintos estilos personales de trabajo configuran el estilo de la empresa y contribuyen a su éxito.

La organización de la oficina preindustrial suele funcionar bien mientras la escala de operación sea pequeña y sencilla. Pero resulta ineficaz cuando se trata de transacciones a gran escala o de procedimientos complejos que requieran la coordinación de varias fuentes de datos. Si en tal oficina crece la carga de trabajo, o si la situación se complica, la solución típica suele consistir en pedirle al trabajador que acelere el ritmo o en contratar más empleados. Pero lo más verosímil es que esas medidas tengan sólo validez transitoria. Sin el concurso de sistemas o nuevas tecnologías, la eficacia y la moral acaban por fallar.

Ante semejantes limitaciones de la organización de la oficina preindustrial, se ha respondido aplicando los principios de simplificación del trabajo, especialización y racionalización, expuestos para el caso de las fábricas por Frederick W. Taylor, hace 70 años. El resultado es la fase industrial de la oficina, que, en resumidas cuentas, viene a ser una cadena de producción. El trabajo (documentos o cartera de papeles relativos a un cliente) pasa de mesa en mesa, a imagen de las piezas que avanzan de un sitio a otro en una cadena de montaje. Cada empleado recibe un montón de papeles en una gaveta de "entradas"; él realiza un paso o dos del proceso y da curso a los documentos en una gaveta de "salida", que recoge otro empleado, quien, a su vez, acometerá sus limitadas funciones. Las tareas, simples y reiterativas, no ofrecen mayor gratificación. Habrá quien no tenga otra misión que cumplir que grapar o archivar los documentos, copiarlos tal vez o comprobar, corregir o confirmar un solo dato. Y, naturalmente, todos han de trabajar juntos, las mismas horas y dentro de las mismas cuatro paredes para mantener constante el flujo de papeles.

Este enfoque, que asimila la oficina a una cadena de montaje, se supuso muy adecuado para aquellas actividades cuya función principal consistía en gestionar un gran volumen de transacciones, como el envío de facturas o el proceso de partes en las compañías de seguros. Muchas de las grandes oficinas que operaban como cadenas de producción se organizaron y coincidieron



**LOS TERMINALES DE ORDENADOR** ocupan un lugar destacado en esta oficina de la Prudential Insurance Company of America en Parsippany, New Jersey, en la que se atienden las reclamaciones. Los empleados deben identificarse pulsando un código en el teclado del terminal y, entonces, tienen acceso al fichero para consultar las pólizas de seguros y reclamar o modificar convenientemente la información, así como para añadir nuevos datos al fichero.

en la introducción de los primeros ordenadores, cuando la información tenía que recogerse en grandes paquetes para que el ordenador la procesara luego. Para introducir los datos en la máquina se utilizaban entonces tarjetas perforadas; la salida consistía en grandes volúmenes de documentos impresos. Habida cuenta de que los primeros ordenadores sólo podían acometer unas cuantas operaciones de un proceso complejo, la oficina industrial tenía que adaptar las tareas de la plantilla a las exigencias de la máquina. Los ordenadores y los medios de ponerse en comunicación con ellos han avanzado mucho, pero todavía hay oficinas dedicadas a extensas transacciones que continúan estancadas en la fase industrial.

El modelo industrial de organización de oficinas se basa en un empeño deliberado de maximizar la eficacia y la producción. Para crear una cadena de montaje es preciso analizar el flujo de trabajo, aislar cada tarea y medir de alguna manera el trabajo. Se hace necesaria la normalización de tareas, transacciones, tecnologías y hasta las mismas relaciones personales. Una fragmentación de responsabilidades va de la mano de la organización burocrática y de la proliferación del papeleo. La mayoría de los trabajadores no tienen un concepto claro de la tarea global a la que están contribuyendo ni de cómo funciona el sistema en conjunto.

La oficina industrial presenta importantes desventajas. En un proceso en cadena suelen producirse muchos errores; dada la subdivisión de esfuerzos en la realización de una tarea, muchas veces habrá que corregir los errores sin tener a mano la información apropiada; nada tiene de extraño que en más de una ocasión los errores aumenten. Además, las operaciones en cadena pueden resultar sorprendentemente costosas y precisar un elevado número de personas. A medida que se contrata nuevo personal para hacer frente a una tasa de error que aumenta más rápidamente que el volumen de las transacciones, el coste por transacción se incrementa y la eficacia disminuye.

Quienes trabajan bien no quieren permanecer en ocupaciones aburridas, y los que las aceptan suelen mostrar poco interés por su trabajo, lo que pronto trasciende al cliente. Aun cuando el trabajador ponga todo su interés, el sistema le vence, y el servicio que recibe la clientela es malo. Un asunto puede tardar semanas en recorrer todo el ciclo; resulta así difícil responder a las consultas sobre la situación en que se encuentra una determinada cuenta, y más todavía tomar medidas correctivas con la prontitud necesaria. Imaginemos que se haya de comprobar un pago por venta; el administrativo advierte que la factura es incorrecta, ¿qué hacer? En la mayoría de los casos, el empleado sólo podrá cambiar la cuenta introduciendo nuevos datos en la cadena de producción, sin asegurar que tal medida vaya a dar el resultado deseado. En consecuencia, el error de facturación puede modificarse incorrectamente o repetirse durante varios meses.

A mediados de los setenta, el reconocimiento de estas limitaciones, junto con la aparición de nuevos sistemas de información en los departamentos de gestión, movió a un grupo de bancos decididos y a otras empresas de servicios con un gran volumen de transacciones a dar un paso al frente: reconvertir ciertos departamentos a un modo de operación más acorde con la era de la información. La oficina de la era de la información utiliza la nueva tecnología para conservar los mejores aspectos de las fases anteriores y evitar sus fallos. En su aplicación óptima se combinan centros de gestión apoyados en terminales, una base de datos en continua actualización y comunicaciones para alcanzar una elevada eficacia junto con el retorno al trabajo centrado en las personas y no en las máquinas. En la era de la información, la máquina se adapta a las necesidades y capacidades de la persona que la utiliza. En vez de ejecutar repetidamente un pequeño número de operaciones en muchas cuentas, una sola persona maneja todas las actividades relacionadas con un número más reducido de cuentas. Cada empleado tiene un terminal conectado a un ordenador que mantiene una base de datos con todos los registros de clientes, actualizados a medida que se introduce información en el sistema. El empleado se convierte en gerente de cuentas, trabaja directamente con el cliente y puede darle toda clase de explicaciones.

La información se añade gradualmente a la base de datos maestra; los datos almacenados están bajo el control del empleado que, por consiguiente, se responsabiliza de la corrección de los errores que puedan producirse y de efectuar todas las transacciones. Puesto que la información se actualiza a medida que va llegando, no hay "trabajos en proceso" que den lugar a incertidumbres en la atención al cliente. Una consulta o un cambio pueden tratarse de inmediato por teléfono: se puede examinar el recibo de venta, ajustar la cuenta del cliente y corregir debidamente la factura que está a punto de enviarse por correo.

El diseño de sistemas eficaces y la evaluación de la productividad siguen siendo importantes en la oficina de la era de la información con gran volumen de transacciones, pero el contexto difiere del que envolvía la oficina industrial. La productividad ya no se mide por horas de trabajo o por el número de artículos manipulados; se juzga por la calidad del servicio prestado a los clientes. ¿Están satisfechos? ¿Están dispuestos a volver? ¿Pagarían una prima por un servicio de alta calidad?

Si la respuesta a estas preguntas es afirmativa, la empresa se encuentra en una situación ventajosa en cuanto a competitividad. Aunque la reducción de costes no sea su único objetivo, la empresa puede esperar un gran ahorro en costes de personal. Reducciones de plantilla de hasta un 50 por ciento han sido comunes en despachos que se transformaron en departamentos de gestión, y los empleados que permanecieron se beneficiaron de una considerable mejora en su medio laboral.

Los beneficios de la adaptación a la era de la información no se limitan a oficinas dedicadas a realizar grandes volúmenes de transacciones. Una transformación similar puede aumentar la productividad, eficacia y satisfacción en el trabajo en los despachos de gerencia y administración general, así como en los gabinetes de investigación. La mayoría de esos puestos de responsabilidad se encuentra aún en la fase preindustrial, pero pueden pasar a la era de la información si incorporan tecnologías basadas en la autonomía personal, como el departamento de gestión y el correo electrónico.

Cuando las actividades de una tarea se unifican en un departamento de gestión, la naturaleza de la oficina puede transformarse, además, en otro aspecto: ya no es necesario reunir a los empleados en un mismo lugar y hora. Los ordenadores y terminales portátiles, equipados con el soporte lógico y funciones apropiados para la comunicación (incluyendo el teléfono), crean una "oficina virtual", es decir, el "trabajo" está allí donde va el empleado: en casa, visitando a un cliente, en un hotel o incluso en un avión. El departamento de gestión "remoto" puede ponerse en contacto electrónico con la oficina central; aumenta así el número de lugares donde se puede generar, almacenar, consultar, manipular o comunicar datos numéricos o escritos.

Los efectos de la aplicación de la tecnología del pequeño ordenador son análogos a los que produjo el teléfono. Gracias a la distribución casi universal de teléfonos, no hay que acudir a la oficina para hablar con un cliente o con un compañero de trabajo; hasta ahora no había más remedio que ir allí para escribir o dictar una carta, leer el correo o localizar algún dato en el fichero. Los departamentos de gestión y dispositivos electrónicos de una oficina automatizada pueden conectarse a terminales exteriores y ordenadores personales, de manera que el trabajo no depende ya del flujo de papel a través de muchas manos, sino del mismo trabajador. Por consiguiente, una persona puede organizar su tiempo y decidir dónde y cuándo llevar a cabo su trabajo. Quienes rinden más a primeras horas de la mañana, o prefieren, por el contrario, la noche, pueden hacerlo así sin mayores problemas. El equipo con el que he trabajado en un proyecto durante casi un año estaba formado por personas que vivían en ciudades de la costa atlántica de los Estados Unidos, en la costa oeste y en zonas rurales; para comunicarnos, utilizábamos el correo electrónico, cuyo coste es diez veces menor que el correo ordinario; aproximadamente la mitad de los mensajes se generaron fuera de la oficina y del horario de trabajo habitual.

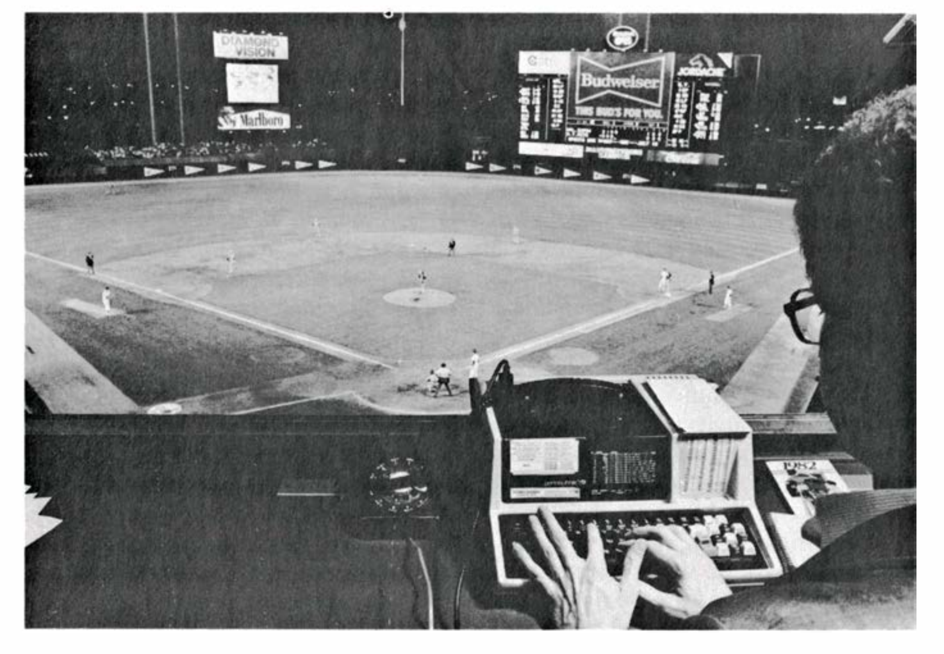
¿Qué pasará con el local de la oficina? Pues, a pesar de todo, tiene sus virtudes. Ofrece una sede jurídica a las organizaciones, un lugar de reunión y un ambiente de trabajo alejado del hogar. Mucha gente necesita la estructura de la oficina; les gusta (o al menos están acostumbrados a ello) el fraccionamiento del día y de la semana en horario de trabajo y tiempo libre. En ella se alojan formas centralizadas de tecnología de comunicaciones, como instalaciones para conferencias por vídeo, demasiado costosas para instalarlas en el hogar. Por estas y otras razones pienso que el local de la oficina seguirá acogiendo parte de la actividad laboral, al menos durante los años que me quedan aún de actividad. No obstante, sí habrá un continuo cambio en la frecuencia con que algunas personas acudirán a ella y en las razones por las que lo harán.

Son muchos y poderosos los factores que se combinan para impulsar la transformación del trabajo de oficina. Un complejo conjunto de bucles de realimentación enlaza el cambio económico y social, los nuevos avances en tecnología de la información, la expansión de la tecnología y la introducción de la nueva organización de la oficina que la tecnología permite. Por ejemplo, el gran número de personas que trabajan con información estimula el interés en mejorar su productividad; ese interés, a su vez, incrementa la demanda de tecnologías que puedan reducir el coste del tratamiento de la información. De esa manera, varias tendencias se refuerzan unas a otras para generar un mercado cada vez más vigoroso de productos y servicios de información. La incorporación de los nuevos dispositivos en el lugar de trabajo crea, a su vez, un ambiente donde la expectativa normal del empleado es trabajar electrónicamente.

La economía es un factor principal. Comunicarse a través de un dispositivo electrónico cuesta cada vez menos dinero que hacerlo por escrito. El uso de un procesador de textos en sustitución del mecanografiado convencional, en el que se emplean múltiples copias, permite reducir el coste de una carta de siete a menos de dos dólares. Todavía más impresionante es el ahorro que comporta el correo electrónico; se reduce el coste de envío de un mensaje a unos 30 centavos de dólar. El sistema de archivo electrónico, mediante el cual un "documento" se almacena y clasifica en la memoria de un ordenador, permite asimismo una gran economía. (La actividad más costosa en la correspondencia manual es la de obtener copias, archivarlas y recuperarlas cuando se necesitan.) Tales reducciones de costes importan menos que el ahorro de tiempo de los directivos y ejecutivos que es, con mucho, el elemento de mayor incidencia en el coste de funcionamiento de una oficina.

Con el paso de los años, y a medida que se abarata el coste de la tecnología electrónica, el ahorro adquiere mayor significación. La rápida memoria de semiconductores cuesta hoy una décima parte de lo que valía en 1975, y su coste menguará en otro factor de diez para 1995. En consecuencia, el consumidor tiene a su alcance posibilidades de tratamiento de la información que hace tan sólo unos años requerían equipos muy caros.

Conforme se ensancha el mercado de puestos de trabajo mecanizados, se invierte más dinero en la investigación y desarrollo de las comunicaciones, la electrónica, el soporte lógico, sistemas de mecanización de oficinas y similares.




**TERMINAL PORTATIL utilizada por Malcom Moran, corresponsal deportivo de *The New York Times* para cubrir el encuentro de beisbol disputado en el Shea Stadium entre los Mets de Nueva York y los Expos de Montreal. Este terminal, un Portabubble 81 fabricado por la Teleram Communications Corporation, suelen llevarlo en sus salidas la mayoría de los periodistas del *Times*. Dispone de una memoria de burbuja con capacidad para 9000 o 20.000 palabras. El periodista puede tomar notas y almacenarlas en la memoria del terminal y escribir parte del artículo y acumularlo para su posterior transmisión; asimismo, puede requerir de la redacción del *Times* el envío de los datos que precise. Los corresponsales deportivos suelen escribir los artículos al finalizar el encuentro y los transmiten más tarde a los ordenadores del *Times*. El envío y recepción se efectúan mediante un acoplador acústico. Para transmitir su colaboración, el periodista marca un determinado número de teléfono y espera la señal de vía libre. Ajusta entonces el auricular del teléfono al acoplador y aprieta un botón; el acoplador de señales transforma las señales digitales en señales acústicas, y la crítica del encuentro se transmite a una velocidad de 300 palabras por minuto. La redacción correspondiente recibe el artículo del ordenador del *Times* para su edición.**




**CARTAMOVIL, vehículo de despacho de correspondencia propulsado con batería y sin cable que fabrica la Bell & Howell. Aparece aquí dando una curva durante su recorrido por el departamento de investigación de la Merrill Lynch and Company. El vehículo sigue un trazado químico de fácil aplicación y corrección que marca el recorrido desde la sala de correspondencia, a través de la oficina y de vuelta a la sala de correspondencia. Un emisor de luz ultravioleta situado bajo el vehículo provoca la fluorescencia del producto: un sensor óptico detecta el trazado fluorescente. El cartamóvil se desplaza a una velocidad algo superior al kilómetro y medio por hora, y en su trayecto emite señales acústicas y luminosas. Se detiene automáticamente en puntos de recogida y despacho codificados en el trazado químico. Va provisto de parachoques que detienen el vehículo al contacto con personas o cualquier obstáculo. Se dispone ya de una versión "inteligente" capaz de elegir entre trazados alternativos e incluso de viajar en ascensor.**

El tiempo que tarda un producto en quedarse obsoleto desde su desarrollo e introducción es cada vez más breve. Cada año llega una nueva generación de dispositivos semiconductores, y cada generación permite un nuevo conjunto de aplicaciones. La constante mejora en los productos crea, a su vez, una mayor demanda y refuerza la tendencia hacia la mecanización de la oficina.

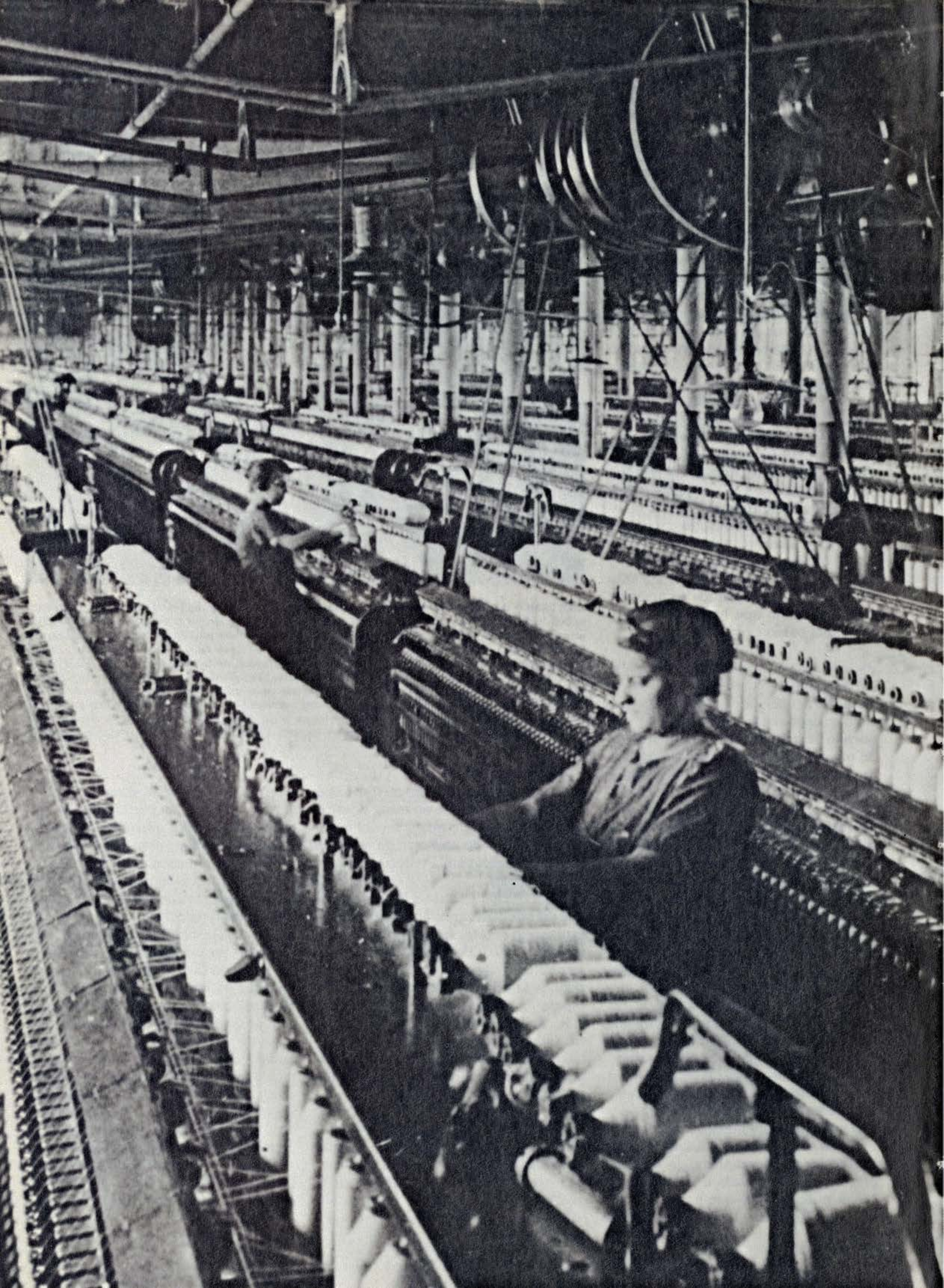
Independientemente de que una empresa se dedique a la agricultura, a la minería, manufactura, transporte o venta, su dirección, comercialización, distribución y otros controles de operación son, en sus grandes rasgos, actividades de tratamiento de información centralizadas en una oficina. A medida que disminuye el número de trabajadores de taller, la proporción de empleados de oficina, incluso en empresas de fabricación, continúa creciendo. En todas las empresas comerciales hay ejecutivos, jefes, administrativos y secretarias; en la mayoría de las organizaciones hay también trabajadores de la información más especializados, como ingenieros y técnicos, abogados, vendedores, bibliotecarios, programadores y operadores de sistemas de tratamiento de textos. Constituyen los recursos de capital humano que hacen viable una economía basada en la información.

Sin embargo, la tendencia a considerar a los trabajadores de oficina como personal de apoyo, externo a la corriente económica principal, ha bloqueado la transformación del trabajo de oficina. El trabajo físico aplicado a la cosecha, extracción de minerales y productos manufacturados se ha venido considerando como el realmente productivo, mientras que al tratamiento de la información no se le ha negado su necesidad pero se le supuso improductivo. Este modo de ver las cosas (que pudo haber sido válido en una sociedad industrial) persiste hoy día, incluso en la mente de economistas que abogan por la "reindustrialización de América". Punto de vista que pesa en la mentalidad del empresariado.

No importa que la mayor parte del trabajo de la sociedad norteamericana tenga que ver con la información, y que éste se realice en la oficina; los empresarios no suelen ponderar los beneficios del aumento de la productividad de los trabajadores de despacho. Quienes tienen una visión preindustrial de la organización de la oficina desechan, por irrelevante o inapropiada, la idea de productividad asociada a las oficinas o la información. Los que tienen una visión industrial de la oficina tienden a centrar su actuación en las medidas que recorten los costes de nómina; el valor de la instalación de nueva tecnología y de un sistema de explotación se mide por su incidencia en la reducción de los costes visibles.

En la oficina se toman las decisiones que determinan la rentabilidad de la organización entera. Es el lugar donde el acierto o fallo en una decisión o en una respuesta arrastra enormes consecuencias. Si la oficina no rinde, que no lo espere la organización. Resulta, además, que un alto grado de mecanización como el que se describe en este artículo es mucho menos costoso que una mecanización equivalente de las fábricas o del campo.

La mecanización del trabajo de oficina constituye una pieza fundamental en la transformación de la sociedad occidental en una sociedad en la que el tratamiento de la información sea la principal actividad económica. El empleo adecuado de nuevas tecnologías de información permitirá a las empresas alcanzar los objetivos siguientes: reducción de la información "flotante", es decir, disminución de la demora e incertidumbre que se produce al no poder acceder a la información que se está mecanografiando, que está en el correo, ha sido mal archivada o que simplemente se encuentra en una oficina que cierra el fin de semana; eliminación de trabajos redundantes y tareas innecesarias, como el mecanografiado repetido de documentos y la utilización manual de archivos; mejor aprovechamiento de los recursos humanos para tareas que requieren decisiones, iniciativa y rápida comunicación; prontitud y seguridad a la hora de tomar decisiones, con todos los considerandos a la mano, por numerosos y complejos que sean; y pleno aprovechamiento total de la oficina virtual mediante la prolongación del lugar de trabajo en el espacio y en el tiempo.



# Mecanización del trabajo de la mujer

*Sus inicios, dos siglos atrás, se caracterizan por salarios bajos y segregación en las ocupaciones. Lo mismo sigue ocurriendo hoy, pese a la decidida incorporación de las mujeres en la fuerza laboral*

Joan Wallach Scott

Suele darse por sentado que la mecanización del trabajo tiene un efecto revolucionario sobre las vidas de las personas que manipulan las nuevas máquinas y sobre la sociedad en la que éstas se introducen. Así, se ha sugerido, por ejemplo, que el empleo de las mujeres en la industria las sacó de sus casas, su esfera tradicional, y modificó fundamentalmente su posición dentro de la sociedad. Partidarios y críticos de la mecanización han compartido por igual este supuesto. Cuando un número creciente de mujeres comenzó a ingresar en las fábricas en el siglo XIX, Jules Simon, un político francés, lanzó la advertencia de que "una mujer que se hace obrera deja de ser mujer". Friedrich Engels pensaba, por su parte, que las mujeres se liberarían de la "subordinación social, legal y económica" de la familia gracias al progreso tecnológico que permitía la incorporación de "la totalidad del sexo femenino... a la industria pública". Vemos, pues, como dos observadores podían tener opiniones diametralmente opuestas sobre el valor de la mecanización para la mujer y no dudar ni uno ni otro que la mecanización transformaría su modo de vida.

Simon y Engels, y muchos otros, en parte atribuían esta capacidad transformadora a la tecnología, porque consideraban que la capacidad de alterar las relaciones humanas, por parte de la mecanización, era inherente a las propias máquinas y, por tanto, susceptible de influir poderosamente sobre el contexto social en que se utilizaba la maquinaria. Actualmente, los historiadores, en particular quienes investigan la historia del papel de la mujer, cuestionan seriamente esta hipótesis. Los estudiosos que han examinado la experiencia de la mujer en la sociedad industrial han llegado a la conclusión de que innovaciones tales como la hiladora "jenny", la máquina de coser, la de escribir, el teléfono, la aspiradora eléctrica y el ordenador no han modificado básicamente la posición económica de la mujer ni la habitual valoración de su trabajo. Las transformaciones tecnológicas de impresionante trascendencia no dieron pie a cambios sociales igualmente impresionantes. Por ejemplo, el empleo de mujeres jóvenes en las primeras fábricas textiles fue con frecuencia una extensión de una anterior costumbre de emplear a jóvenes solteras. Su acomodo en las oficinas fue resultado de la separación del trabajo de secretaria del trabajo administrativo, y la consiguiente creación de una categoría de empleos con escasas oportunidades de promoción; los nuevos puestos se consideraban con frecuencia "trabajos femeninos". El incremento del empleo de la mujer casada en el siglo XX, que constituyó un cambio social considerable, no estuvo tan relacionado con la mecanización cuanto con otras transformaciones económicas y demográficas.

Es innegable que algunos aspectos del trabajo de la mujer han variado notablemente en los últimos doscientos años. El trabajo se ha trasladado de la casa a la oficina o la fábrica; en muchos casos ha pasado a ser trabajo de oficina más que trabajo de taller. En puntos esenciales, sin embargo, el trabajo que realiza la mujer ha variado poco desde los tiempos que precedieron a la Revolución Industrial. Las ocupaciones siguen divididas por razón del sexo. Las mujeres, como grupo, perciben una remuneración más baja que los hombres. En muchos casos su trabajo exige un nivel relativamente bajo de cualificación y ofrece escasas oportunidades de promoción. El trabajo doméstico continúa exigiendo una gran dedicación a las mujeres que tienen familia, aún en caso de que puedan disponer de aparatos electrodomésticos que sus abuelas habrían considerado milagrosos. Una década de investigación histórica ha impuesto una revisión en profundidad de aquella idea que afirmaba que la tecnología era inherentemente revolucionaria, al menos en lo que respecta a la aplicación de ese postulado al caso de

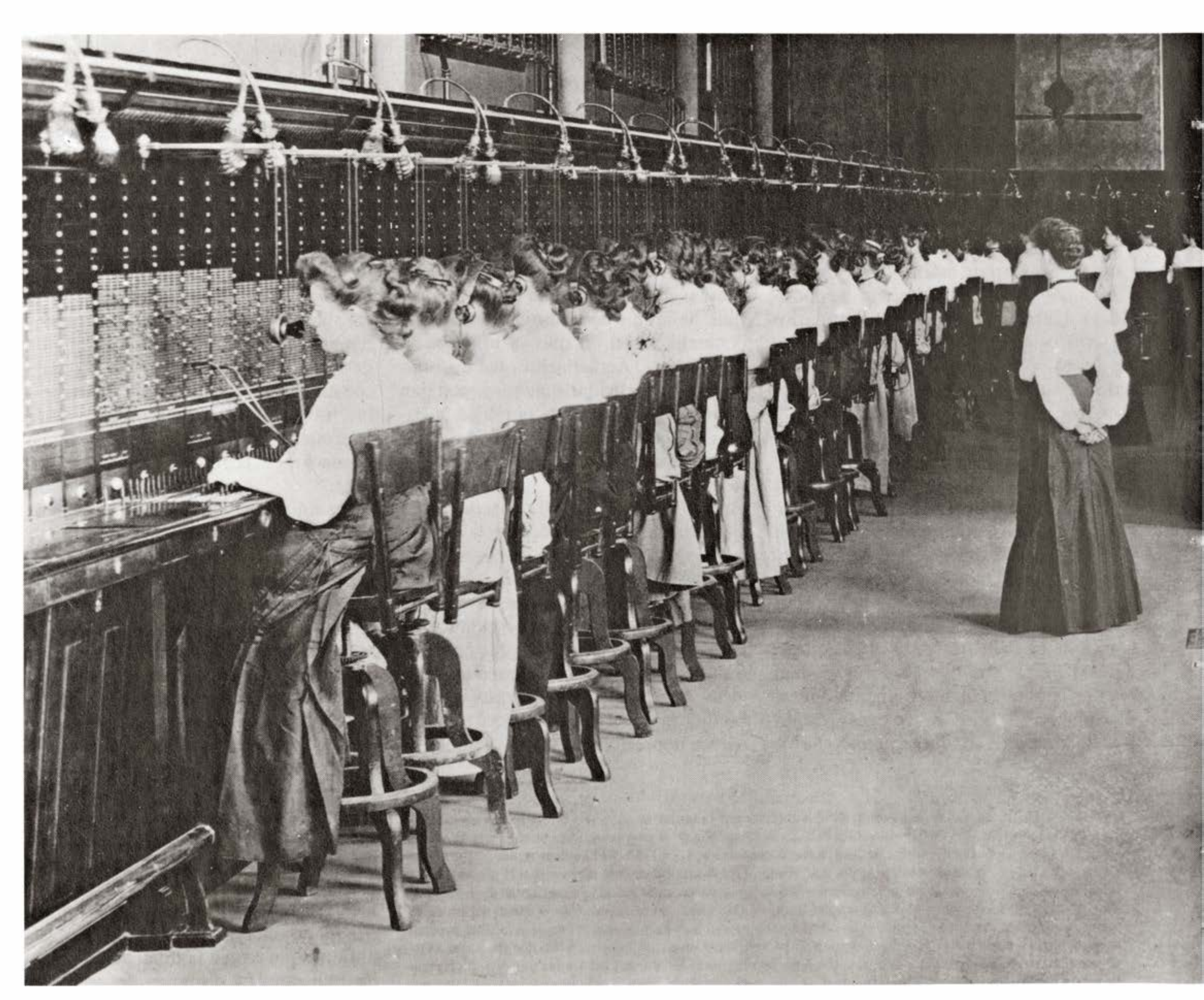
**TRABAJO DEL HILADO, realizado tradicionalmente por la mujer en su casa y trasladado a las fábricas a raíz de la mecanización de la industria textil. En la fotografía de la página opuesta puede verse la sala de hilado de la empresa Pacific Mills, de Lawrence, Massachusetts, en 1915. El hilado se realiza separando y retorciendo las fibras de algodón para formar el hilo. Originariamente esta tarea se hacía a mano con el huso. El primer progreso mecánico fue la invención de la rueca en la Edad Media. Antes de crearse las fábricas textiles, la mayor parte del hilado se hacía en las casas, con la rueca. Con la construcción de los telares mecánicos, las mujeres no dieron abasto para producir el hilo necesario con el primitivo procedimiento. Para aumentar la producción de hilo se combinaron en Inglaterra, a finales del siglo XVIII, diversas innovaciones que darían lugar a las grandes máquinas hiladoras impulsadas por energía hidráulica o de vapor. Las hiladoras anulares que se ven en la fotografía eran el tipo de máquina de hilar más común en los Estados Unidos, a principios del siglo XX. Todas las máquinas de la sala de hilado estaban accionadas por un único motor eléctrico; la energía se transmitía a cada una a través de correas que bajaban del techo. Las bobinas verticales de la parte superior de la máquina contienen el hilo de primera torsión, áspero y grueso como un cordel. Este hilo descendía entre dos cilindros forrados de cuero, a través de un aro metálico o corredera. La corredera giraba sobre una argolla que circundaba la bobina de hilo. Las bobinas con el hilo se encuentran a la altura de la cintura de la trabajadora; cada máquina tenía unas 300. La corredera giraba en torno de las bobinas a una velocidad de unas 10.000 vueltas por minuto, tensando y retorciendo el hilo mientras la argolla subía y bajaba para distribuirlo uniformemente. En las primeras fábricas, las mujeres que operaban hiladoras y telares mecánicos procedían de familias de artesanos. Solían trabajar antes de casarse; la apertura de las fábricas sólo cambió el lugar de trabajo.**

la mujer. Los datos disponibles sugieren que, por el contrario, la mecanización ha servido para reforzar la posición tradicional de la mujer tanto en el mercado de trabajo como en el hogar.

La mecanización ha tenido un evidente efecto revolucionario sobre los procesos de fabricación de los productos y sobre la organización de los trabajadores que los elaboran. Las máquinas hiladoras y telares impulsados por energía de vapor que se introdujeron en el siglo XIX podían producir en cuestión de minutos la misma cantidad de hilo o tela que centenares de artesanos hilaban o tejían hasta entonces en días o semanas de trabajo. Las nuevas máquinas simplificaron las tareas necesarias para fabricar productos acabados, dividieron el trabajo en pequeñas operaciones repetitivas y reunieron bajo un solo techo a gran número de personas ocupadas en realizar una función similar.

Muchos de los que entraron en las nuevas fábricas de Europa y Estados Unidos eran mujeres jóvenes que habían dejado las tareas del campo y las ruecas para emplearse como operarias. El contraste entre la experiencia de la campesina y de la obrera fabril era enorme y podía resultar agobiante. Este contraste queda bien patente en un relato, con escasa concesión a la literatura, escrito por una mujer que se incorporó al trabajo en una fábrica textil de Lowell, Massachusetts, en la década de 1830: "Al principio resultaba aterrador ver tantas cintas, ruedas y muelles en un movimiento sin fin. Tenía miedo de poner su mano sobre el telar y estaba prácticamente segura de que nunca conseguiría aprender a tejer... La lanzadera salió disparada y le hizo otro chichón en la cabeza; y la primera vez que intentó accionar el torno rompió una cuarta parte de los hilos".

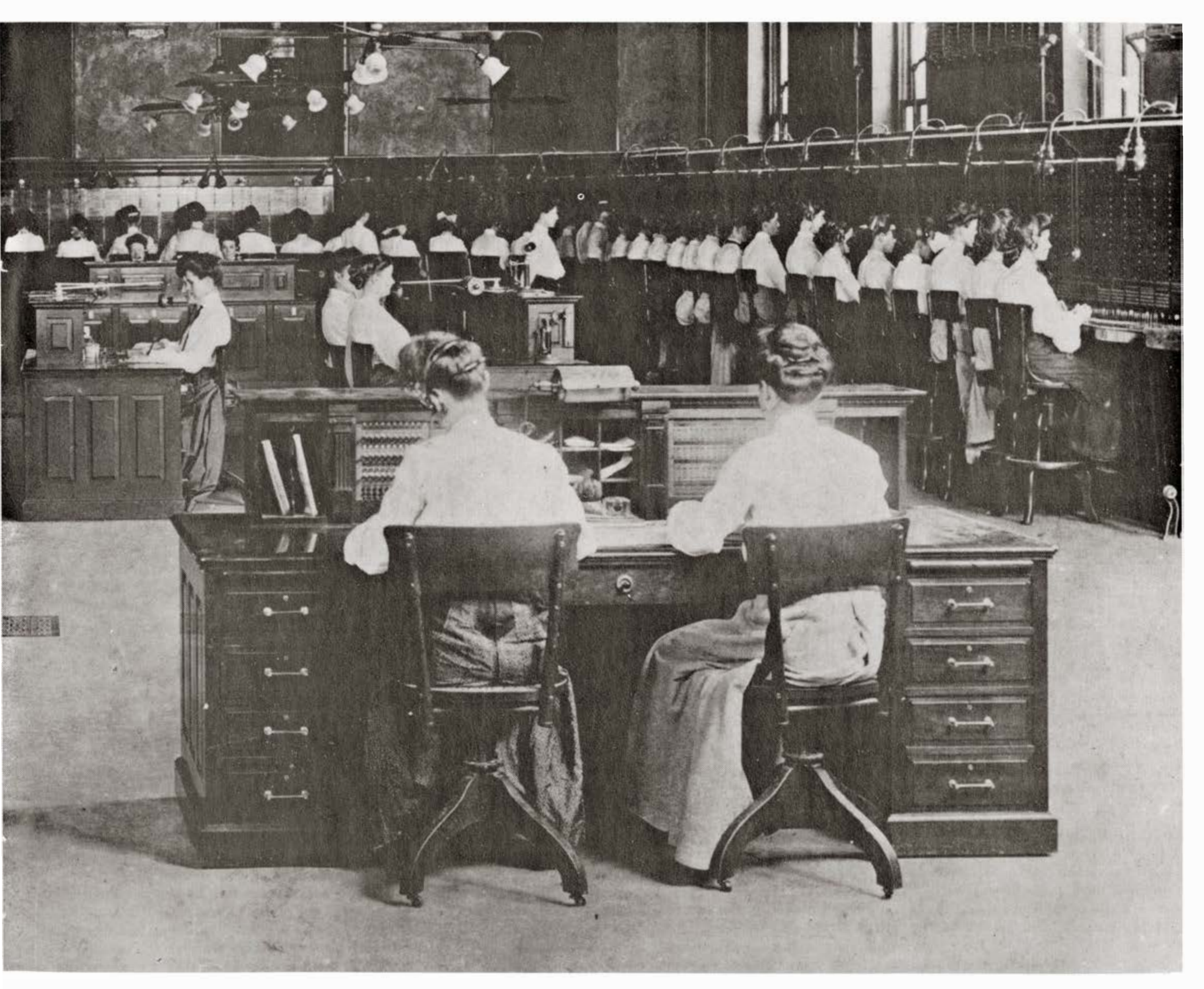
A semejanza de las textiles, otras in-



**LAS CENTRALES TELEFONICAS fueron un importante sector de empleo para un número creciente de mujeres jóvenes a principios del siglo XX, como demuestra esta fotografía de la central principal de Kansas City, Missouri, en 1904. El cuadro de conexión es del tipo llamado múltiple. Introducido en 1897, presentaba numerosas ventajas en relación a los anteriores. Los primeros cuadros de conexiones eran de incómodo manejo: las operaciones indicadoras (por ejemplo, cuando el cliente comunicaba a la operadora que deseaba hacer una llamada) se realizaban mediante un equipo independiente del utilizado para llamar. Todos los circuitos estaban incorporados en un solo tablero. Buena parte de las posteriores innovaciones surgieron tras el invento del enchufe que transmitía la corriente tanto para las señales indicadoras como para la llamada. Se conectaba ésta uniendo dos enchufes con un cable corto provisto de una clavija en cada extremo. Una versión del enchufe de conexión se patentó en 1879. Dieciocho años después, su tamaño se había reducido hasta el punto de poner 10.000 líneas al alcance de una sola operadora. Una posterior innovación fue la separación, de los enchufes correspondientes a las personas que hacían llamadas ("contestadores"), de los correspondientes a las personas que debían recibir la llamada ("conectadores"). Cada operadora**

dustrias comenzaron a reclutar sus trabajadores entre las jóvenes solteras: papeleras, relojeras, curtidos y fábricas de botones. Más avanzado el siglo, los fabricantes de cables eléctricos y bombillas obtuvieron mano de obra de la misma fuente. Las imágenes de las fábricas donde se producían esos artículos plasman la novedad de la experiencia que vivían las trabajadoras. Los grabados y fotografías muestran largas filas de jóvenes atentas a su trabajo frente a sus máquinas. Un gran número de empleadas en idéntica postura y con idénticos vestidos y peinados da idea de las dimensiones de la empresa. Las imágenes confieren al trabajo femenino una cualidad uniforme e impersonal que resultaba extraña en aquella época. Tales imágenes llevan implícita una comparación con el ambiente más íntimo y recogido del hogar.

Quienes argumentan que la nueva tecnología fabril tuvo un impacto revolucionario sobre la mujer dan por supuesto que el trabajo de la fábrica la separaba permanentemente de su ocupación tradicional en el seno del hogar. En ese razonamiento anda implícita la idea de que la mujer no realizaba trabajos remunerados ni se dedicaba a otras actividades productivas antes de la Revolución Industrial. Se considera que la oportunidad de ganar un salario les abrió el acceso al mundo de los hombres, donde encontraron independencia y reconocimiento social. En realidad, los patronos (y en cierta medida las propias mujeres) concebían el trabajo de las obreras en las primitivas fábricas en términos tradicionales. La idea más asentada era que el trabajo asalariado constituía una ocupación secundaria y que la verdadera tarea de la mujer estaba en la crianza de sus hijos y en llevar la casa. La concepción tradicional quedaba patente en la preferencia de los patronos por contratar jóve-



**tenía delante tres paneles verticales con conectadores para todos los abonados. Sobre una plataforma horizontal estaban los "contestadores" correspondientes a sólo una fracción de los abonados. Para hacer una llamada, el abonado levantaba el auricular y activaba así un circuito que encendía una bombilla sobre el "contestador" en cuestión. La operadora introducía una clavija en ese enchufe; la bombilla se apagaba y un generador situado en el edificio de la compañía telefónica suministraba la energía necesaria para la transmisión de la voz. La operadora pulsaba una tecla que conectaba sus auriculares al circuito y pedía el número con el que deseaba hablar el abonado. Si la línea solicitada estaba libre, introducía la otra clavija en el "enchufe conectador" y pulsaba una tecla que hacía sonar el teléfono de la persona que debía recibir la llamada. Las luces del tablero indicaban si se recogía la llamada y cuándo colgaba uno de los dos comunicantes. La primera central telefónica comercial se instaló en New Haven, en 1878, con 21 abonados. En las primeras centrales telefónicas los operadores eran hombres jóvenes, pero a partir de la década de 1880 fueron sustituidos por mujeres. El trabajo de telefonista era limpio y respetable y en consecuencia se consideró adecuado para las jóvenes solteras de clase media, que empezaban a trabajar en las postrimerías del siglo XIX.**

nes y solteras; la mayoría de las obreras tenían entre 16 y 25 años.

Que el trabajo fabril era una extensión de una experiencia anterior queda demostrado también por el hecho de que las operarias procedían mayoritariamente de familias artesanas y campesinas; estas familias habían contado durante generaciones con que sus hijas trabajarían en la casa, en una industria artesanal o en el servicio doméstico, hasta su matrimonio. Tanto en Europa como en los Estados Unidos, la fracción de jóvenes solteras que realizaban un trabajo asalariado presentaba considerables variaciones según las regiones y grupos sociales. A pesar de estas variaciones, es incuestionable que muchas jóvenes trabajaban fuera de casa en Europa y en los Estados Unidos. Cuando se abrieron las fábricas, éstas ofrecieron una mejor remuneración y más puestos de trabajo que a los que hasta entonces tenían acceso las mujeres jóvenes, quienes se limitaron a trasladar su empleo a un nuevo lugar.

Además, un trabajo en la fábrica no modificaba el curso previsto de la vida de una mujer, sustituyendo el matrimonio y el cuidado de los hijos por un empleo remunerado. La fábrica simplemente ofrecía a las jóvenes un nuevo tipo de trabajo en un momento de su vida en el que habitualmente comenzaban a estar empleadas. La mayoría de las obreras buscaban una ocupación pensando en la ganancia económica inmediata, sin pretender hacer carrera. Una vez casada, la mujer tenía escasos motivos para pasarse el resto de su vida adulta trabajando en una fábrica, a menos que su familia necesitara desesperadamente su salario. No había grandes posibilidades de promocionarse y obtener un sueldo más alto. En consecuencia, la mayoría abandonaban la fábrica al contraer matrimonio o, más adelante, cuando venían los hijos.

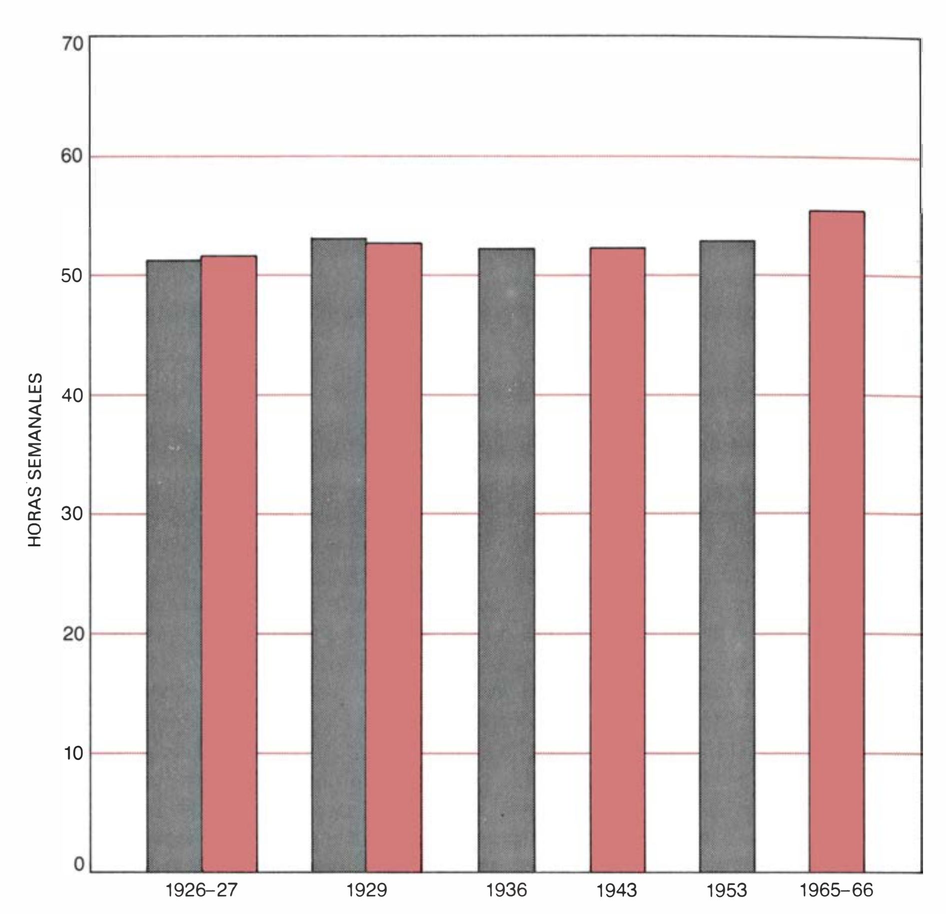
Por tanto, la fuerza laboral de las fábricas estaba integrada en su mayor parte por solteras, con una minoría de casadas o viudas pobres. La plantilla presentaba una elevada rotación de personal, pero ello no preocupaba a los patronos, puesto que el cambio de personal no frenaba la producción. La mujer aprendía pronto su tarea y aceptaba las condiciones de la fábrica, en parte porque no esperaba permanecer allí mucho tiempo. Desde el punto de vista del dueño, los inconvenientes de la constante rotación de la población laboral femenina quedaban compensados por una gran ventaja: se trataba de una fuerza laboral barata.

El proceso de industrialización de Inglaterra tuvo como atento observador a un profesor escocés, Andrew Ure. Al



**OFICINA DE TRABAJO: la labor aquí realizada se transformó entre 1880 y 1910, en parte a consecuencia de la introdución de la máquina de escribir. La fotografía muestra parte del departamento de verificación y pólizas de la Compañía de Seguros Metropolitan, alrededor de 1910. En ella se aprecia una de las consecuencias del cambio: las mujeres sustituyeron a los hombres en el trabajo de oficina. En el departamento de verificación y pólizas se revisaban los informes presentados por los agentes exteriores y se rellenaban las pólizas de seguros. En 1910 este departamento contaba con más de 500 mecanógrafas. La máquina de escribir era ya un instrumento de uso común en el trabajo de oficina. El primer prototipo con posibilidades de aplicación práctica fue construido en 1867 por Christopher Latham Sholes. La armería E. Remington & Sons lo comercializó en 1873 bajo el nombre de Remington N.º 1. La máquina poseía muchas características de la máquina de escribir manual moderna, incluido un cilindro con mecanismos interlineadores y de retorno del carro, una tecla espaciadora y barras con las letras que golpeaban en un solo punto del cilindro. Las teclas tenían una distribución muy parecida a la de la máquina de escribir moderna. Dos ulteriores innovaciones darían lugar a la máquina de escribir de 1910. Una fue la tecla conmutadora, que permitía escribir en mayúsculas y minúsculas utilizando el mismo teclado. (La Remington N.º 1 sólo escribía en mayúsculas; algunos diseños de la misma época llevaban un segundo teclado para las minúsculas.) La segunda innovación fue la colocación del papel de forma que pudiera leerse el texto a medida que se iba escribiendo. (En la mayoría de las primitivas máquinas de escribir las barras percutían en la cara inferior del cilindro y era preciso levantar el carro para leer el escrito.) En 1910 las mujeres llevaban relativamente poco tiempo en las tareas de oficina. Anteriormente este trabajo lo realizaban hombres jóvenes como preparación para pasar a ocupar cargos administrativos. El incremento del trabajo burocrático en las décadas de 1880 y 1890 resultó en la creación de gran número de empleos de secretaria, con escasas oportunidades de promoción. Los patronos consideraron que estos empleos, que no ofrecían posibilidades de hacer carrera, serían adecuados para la mujer. Una muestra de la segregación ocupacional por razón del sexo nos la ofrece la estadística siguiente: en 1908, el departamento de verificación y pólizas tenía 287 contables, todos hombres, y 752 administrativos, todos ellos mujeres.**

igual que muchos de sus contemporaneos, Ure andaba fascinado por el proceso industrial naciente; se recorrió Inglaterra tomando nota de lo que observaba en las fábricas. En 1835 escribió: "El permanente objetivo y tendencia de todo perfeccionamiento de la maquinaria es sustituir por completo el trabajo humano o disminuir su coste, reemplazando el trabajo de los hombres por el de mujeres y niños... En la mayoría de las fábricas de algodón que funcionan con energía hidráulica, el proceso entero del hilado está en manos de mujeres de 16 años en adelante. La sustitución de la "selfactina" por la máquina de hilar intermitente tiene por efecto el licenciamiento de la mayoría de los hiladores masculinos para conservar a los adolescentes y los niños. El propietario de una fábrica de las cercanías de Stockport afirma que tal sustitución le permitiría ahorrarse 50 libras semanales en el pago de salarios, como consecuencia de prescindir de casi cuarenta hiladores a un salario de unos 25 chelines cada uno."




**TIEMPO DEDICADO SEMANALMENTE AL TRABAJO DOMESTICO por el ama de casa que no salía fuera a trabajar. Varió poco entre 1926 y 1966. Las columnas grises corresponden a las campesinas, las columnas de color a las de la ciudad. Los datos se han tomado de diversos sondeos comparables. En el período considerado hubo un crecimiento de la población urbana y se generalizó la posesión de electrodomésticos. Se ha argumentado que estos aparatos de uso doméstico liberaron a las mujeres permitiéndoles realizar otros tipos de trabajo. Sin embargo, al finalizar los años 1960, las mujeres no empleadas fuera del hogar continuaban dedicando más de 50 horas semanales al trabajo doméstico. Las mujeres asalariadas también dedicaban considerable cantidad de tiempo a las tareas del hogar: 26 horas semanales. Ello parece indicar que los electrodomésticos no sólo no liberaron a las mujeres para otros tipos de trabajo, sino que muchas de ellas se pusieron a trabajar en gran parte para poder comprarse esos aparatos.**

La observación de Ure refleja la vieja creencia de que las mujeres no merecían ni necesitaban unos salarios tan altos como los de los hombres. La exclusión de los oficios varoniles, la falta de formación y la suposición de que su salario servía para complementar los ingresos de la familia, más que para mantenerla, determinaron la extendida valoración del trabajo femenino como inferior al del hombre.

Y las mujeres no sólo cobraban menos que los hombres por el mismo trabajo en las fábricas, sino que la actitud cultural respecto a su capacidad también determinó que muchos trabajos se consideraran primordialmente adecuados para ellas. Los patronos las contrataban, decían, porque sus dedos pequeños y gráciles sabían anudar los hilos con facilidad. Además, el temperamento de la mujer –pasivo, paciente y cuidadoso– se consideraba idóneo para los trabajos monótonos y repetitivos. En la fábrica los hombres eran los encargados, mecánicos y cardadores, oficios que requerían vigor físico. Las mujeres se ocupaban de las máquinas hiladoras, torcedoras, urdidoras y de los telares. Las tareas específicas realizadas por hombres y mujeres variaban de una fábrica a otra, pero la separación entre el trabajo masculino y el femenino era casi universal; en la mayoría de las fábricas, muchas naves contaban con un personal totalmente femenino. Se mantenía invariable, por tanto, la asignación de ámbitos de trabajo separados por razón del sexo. (La idea de unas esferas de trabajo distintas está tan profundamente arraigada en las imágenes culturales que se supone que semejante división se remonta al primer lugar de trabajo, donde "Adán cavaba y Eva hilaba".)

Unos salarios más bajos para las mujeres que para los hombres y la segregación de las ocupaciones por razón del sexo fueron con frecuencia el resultado de la mecanización durante el siglo XIX y principios del XX. La maquinaria que ampliaba la división del trabajo, que simplificaba y hacía rutinarias las tareas y que requería trabajadores no especializados, en vez de artesanos expertos, solía ir asociada al empleo de mujeres. Desde el punto de vista de los trabajadores especializados desplazados por la maquinaria, la feminización equivalía a la devaluación de su trabajo.

El incremento del trabajo de las mujeres en las oficinas, a finales del siglo XIX, constituyó una nueva variación sobre el mismo tema. El teléfono y la máquina de escribir se convirtieron en el símbolo de la reorganización del trabajo de oficina en aquella época. Pero estas innovaciones constituyeron sólo una pequeña parte de la reorganización. El crecimiento de la población urbana y de la industria, y la consiguiente expansión del comercio, exigieron enormes cantidades de trabajo burocrático. A principios del siglo XIX, el trabajo de oficina lo realizaban hombres jóvenes como parte de su aprendizaje comercial general; a menudo, este aprendizaje servía de preparación para pasar a ser socio o para heredar la empresa. Pero al aumentar el volumen del trabajo burocrático, las tareas de oficina se separaron de las tareas administrativas propiamente dichas y de la posibilidad de promoción dentro de la jerarquía ejecutiva.

En la primera fase del desarrollo de la oficina moderna, el trabajo de copia se daba a mujeres que lo realizaban en casa. Estas trabajadoras solían ser casadas o viudas con hijos, que completaban los ingresos familiares copiando textos; se les pagaba a tanto la palabra. Que las copistas supieran leer y escribir indica que se trataba de mujeres instruidas y, por tanto, probablemente pertenecientes a familias artesanas o incluso de clase media.

La primera fase del trabajo de oficina moderno no duró mucho. La primera máquina de escribir de aplicación práctica, inventada en 1867, se introdujo en el uso comercial en los años 1870; y pronto pasó a formar parte del equipo habitual de las oficinas. La mecanografía, la taquigrafía y las tareas de archivo se convirtieron en elementos integrantes de un trabajo de plena dedicación realizado en la oficina. Con la creación del empleo de secretaria, los jóvenes ambiciosos pasaron a trabajar en el campo de las ventas, la publicidad y a ocupar cargos ejecutivos. Se contrató a mujeres para los nuevos servicios en las oficinas. El cambio se efectuó en cuestión de pocas décadas. En el censo estadounidense de 1880 sólo figuraba un pequeño número de mujeres clasificadas como oficinistas. Al llegar a 1910, un 83 por ciento de todos los taquígrafos y mecanógrafas eran mujeres; Francia e Inglaterra registraban pareja proporción. La feminización del trabajo de oficina no cesó: en 1980, el 97 por ciento de los mecanógrafos estadounidenses eran mujeres, al igual que el 89 por ciento de los taquígrafos.

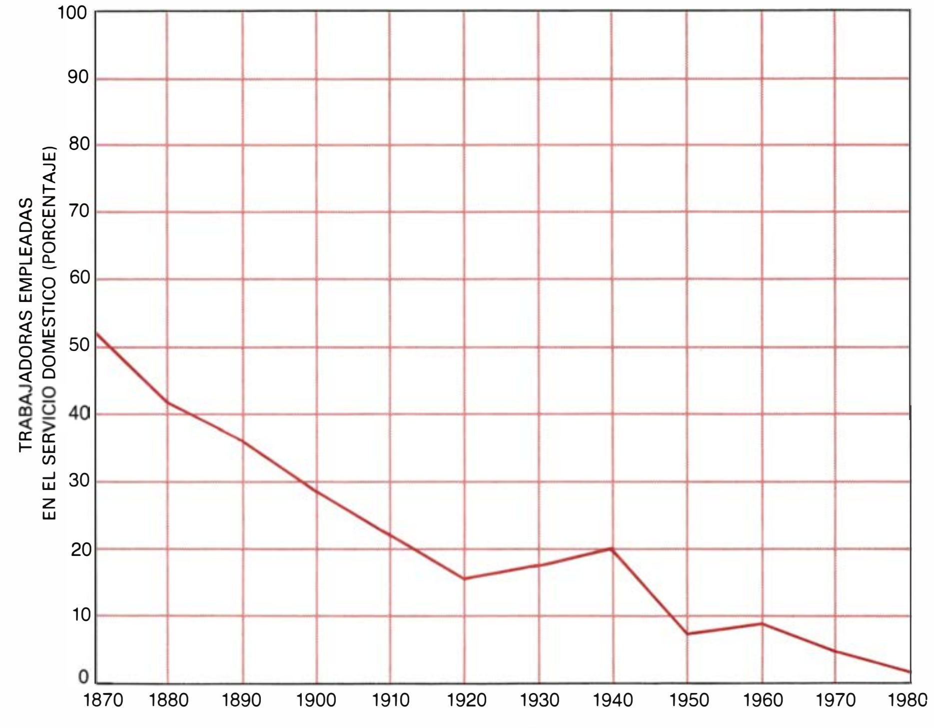
En consecuencia, al igual que las salas de hilado y tejido de la fábrica textil, la sala de oficina pronto se convirtió en un espacio femenino. Pero el trabajo de oficina tenía unas cualidades que lo distinguían del trabajo manual de las fábricas. Requería cierto grado de instrucción formal. Además, al ser un trabajo limpio y respetable se consideraba adecuado para las mujeres de clase media, que hasta entonces nunca se habían ocupado en ningún menester remunerado.

Las familias que deseaban verse libres de la carga de mantener a una hija soltera o que querían ofrecer un oficio rentable a unas hijas que quizá no llegarían a casarse o cuyos maridos podían morir jóvenes, las enviaban a las escuelas de comercio y luego las impulsaban al mercado de trabajo. En el decenio de 1870, estas presiones económicas y demográficas habían incorporado a las jóvenes de clase media en los sectores sanitarios (enfermeras) y docentes (maestras). En las décadas de 1890 y 1900 las presiones las empujaron hacia los empleos recién abiertos. En las oficinas se encontraron trabajando junto a mujeres de familias pobres que habían asistido a las escuelas de comercio a fin de prepararse para un puesto en oficinas.

La secretaria y la telefonista sustituyeron rápidamente a la operaria fabril como prototipo de la mujer trabajadora. Su trabajo era mucho menos sucio y menos difícil que el fabril. Sin embargo, existían unas semejanzas fundamentales entre la situación de las oficinistas y las de las obreras. La mecanización de la copia de documentos y de las comunicaciones crearon nuevas ocupaciones, al mismo tiempo que mantenían a las mujeres dentro de un mercado de trabajo separado del de los hombres. Las ocupaciones continuaban segregadas por razón del sexo y los estereotipos culturales sobre la capacidad femenina se relacionaban estrechamente con el trabajo que realizaba la mujer. Se decía que los dedos femeninos se deslizaban sobre el teclado de la máquina de escribir con la misma agilidad con que tocaban el piano. Según los empresarios, la capacidad de la mujer para acoger con amabilidad a personas desconocidas, su formalidad y su tolerancia a la repetición hacían de ellas telefonistas ideales.

Igual que había ocurrido con los trabajos fabriles, los de secretaria y telefonista se crearon como empleos para mujeres solteras. Solían aplicarse límites de edad comprendidas entre los 18 y los 25 años. Con frecuencia, los patronos instaban a las mujeres a dejar el empleo al casarse, de grado o por fuerza. Una mujer empresaria, directora de una escuela de comercio dedicada a la formación de trabajadoras de oficina a principios del siglo XX, explicaba así la diferencia entre las carreras y los salarios de hombres y mujeres: “Las mujeres deben reconocer que tienen una desventaja para llevar una vida independiente en el mundo del comercio: el comercio representa un aspecto temporal para la mayoría de las muchachas. En efecto, toda joven normalmente constituida tiene la esperanza de llegar a ser una casada feliz algún día”.

El carácter temporal del empleo hacía innecesaria la promoción y el establecimiento de una carrera profesional institucionalizada; dado que la mayoría de las mujeres empleadas en el comercio no medraban, por lo regular, sus

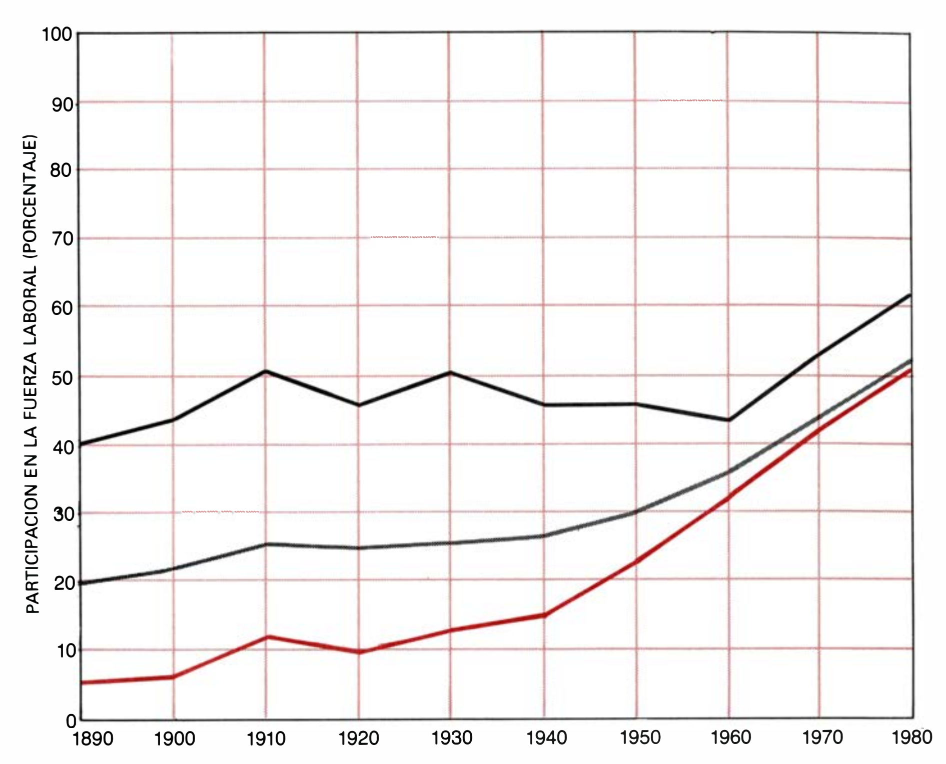



**EMPLEADAS DEL HOGAR.** **(La expresión se usa en su sentido restringido de asalariada: criada, doncella, etcétera.) Representan una fracción progresivamente menor del colectivo total de mujeres que trabajan. En 1870, más de la mitad de todas las mujeres empleadas eran criadas; en 1980, esta proporción se había reducido hasta cerca de un 2 por ciento. La menor disponibilidad de servicio doméstico, unida a unas exigencias mayores de limpieza y a la presencia de aparatos domésticos economizadores de trabajo, ha venido a aumentar el trabajo doméstico de las mujeres de clase media. Con ayuda de los electrodomésticos, esas mujeres dedican ahora mucho tiempo a hacer tareas asignadas antes a las sirvientas.**

salarios se mantenían a un nivel bajo y estable. Además, los patronos daban por sentado, aunque no fuera siempre cierto, que las jóvenes no tenían familias que mantener y que de hecho su familia las mantenía. En consecuencia, los salarios de las oficinistas representaban, en general, aproximadamente la mitad de lo que solían ganar antes los oficinistas. Los hombres protestaron contra la invasión de la oficina por las mujeres. Un antiguo administrativo manifestaba que "no se le contrata por su capacidad, sino por su coste salarial, mucho menor que el del hombre".

Pese a que la composición de la fuerza de trabajo femenina ha cambiado notablemente, la mujer trabajadora sigue cobrando menos que su equivalente masculino. Desde la segunda guerra mundial, la proporción de casadas que trabajan ha experimentado un sorprendente incremento, particularmente acusado entre las mujeres con hijos pequeños. Este incremento guarda una relación mínima con la mecanización, incluida, como en seguida demostraré, la mecanización de las tareas domésticas. Ninguna innovación tecnológica importante parece estar directamente vinculada con el aumento del número de casadas que realizan un trabajo asalariado. Más que un resultado de la mecanización, su incremento síguese de una serie de procesos económicos y demográficos que han incorporado a las mujeres casadas a los tipos de empleo que antes ocupaban sólo las jóvenes solteras.

Valerie Kincaid Oppenheimer, de la Universidad de California en Los Angeles, ha argumentado que comenzó a aceptarse la contratación de casadas al disminuir la reserva de trabajadoras solteras por causa de la prolongación de la educación y el aumento de la tasa de nupcialidad. En el mismo período, la inflación y el deseo de mantener un nivel de vida cada vez más alto impulsaron a muchas casadas a buscar trabajo fuera del hogar. Sus motivos eran los de las mujeres casadas que trabajaban en las primeras fábricas textiles: de orden económico. Sin embargo, para muchas mujeres del siglo XX el objetivo inmediato no era asegurar el sustento de la familia, sino pagar una hipoteca, mandar los hijos a la universidad o comprar aparatos que aliviaran su trabajo. A finales de los años 70 y principios de los 80, con el aumento del índice de inflación y de la tasa de divorcio, ha reaparecido la antigua motivación de asegurar la subsistencia. Son muchas las madres que trabajan hoy para alimentar y vestir a sus hijos y no para pagarse lujos. La extraordinaria cantidad de familias encabezadas por mujeres que viven en el nivel de pobreza o de miseria en los Estados Unidos así lo demuestra y refleja también la persistencia de la actitud según la cual el trabajo de la mujer merece una remuneración inferior que el del hombre.




**PROPORCION DE MUJERES CASADAS QUE TRABAJAN. Ha aumentado considerablemente desde 1900. La línea negra representa la tasa de participación de las mujeres solteras en la fuerza laboral; la línea gris, la tasa de participación para todas las mujeres; la de color, la tasa de participación de las mujeres casadas. Aproximadamente la mitad de todas las mujeres casadas trabajan actualmente fuera del hogar, frente a un 5 por ciento en 1900. En el siglo XIX, y a principios del XX, la mayoría de las mujeres trabajadoras eran solteras. El trabajo no modificaba la evolución prevista de la vida de una mujer, pues dejaba de trabajar al casarse o cuando venían los hijos. El aumento del empleo de las mujeres casadas supuso un cambio social notable, pero parece haber tenido escasa relación directa con la mecanización. Una interpretación del fenómeno es que sólo comenzó a admitirse mujeres casadas cuando la oferta de solteras no se incrementaba con la rapidez suficiente para cubrir las necesidades de mano de obra.**

Aunque el incremento del empleo de la mujer casada fuera del hogar representó un cambio significativo, algunas características importantes del trabajo femenino permanecieron inalteradas cuando la mujer casada salió a trabajar fuera de casa. Los empleos fabriles y de oficina continúan segregados por razón del sexo. En ambos tipos de empleo es frecuente que las zonas de trabajo de hombres y mujeres ocupen espacios separados. Así, en las empresas modernas no sólo existen trabajos masculinos y trabajos femeninos, sino también departamentos masculinos y departamentos femeninos, en el mismo sentido en que las primeras centrales telefónicas eran espacios genuinamente femeninos.

Algunos economistas y patronos, al analizar el efecto que tiene la salida del hogar sobre el matrimonio y los hijos, han razonado que si es necesario que la mujer realice un trabajo asalariado, debería desarrollarlo en el marco tradicional: el hogar. En el caso del trabajo de oficina, que ahora emplea a la mayor proporción de mujeres trabajadoras, el equipo electrónico podría permitir que trabajaran en sus casas [véase "Mecanización del trabajo de oficina", por Vincent E. Giuliano, que es el artículo precedente]. Las trabajadoras, conectadas mediante líneas telefónicas con las oficinas administrativas centrales, podrían operar procesadores de palabras, recoger y archivar información y realizar otras tareas administrativas y de secretaría. De este modo, la mecanización podría ayudar a muchas a compaginar el trabajo con el cuidado de los hijos. También evitaría a los planificadores sociales la necesidad de considerar si la familia nuclear es la mejor forma de organización de la reproducción biológica y del cuidado de los hijos.

No obstante, parece poco probable que los ordenadores lleguen a transformar las habituales características del

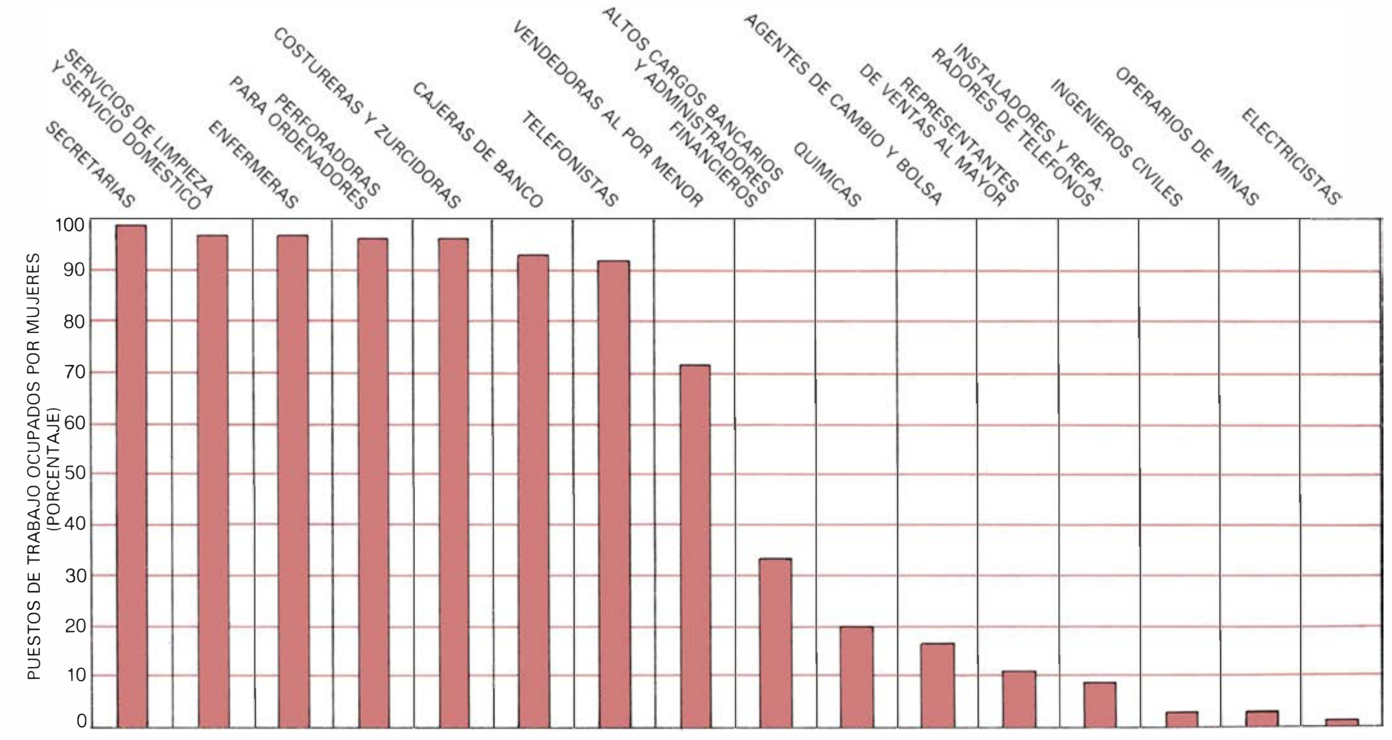
trabajo femenino. Al contrario, la colocación de terminales en el hogar probablemente reduciría los sueldos de las secretarias. En efecto, las máquinas permiten realizar grandes cantidades de trabajo en poco tiempo y reducen, por tanto, el número de personas necesarias para desarrollar sólo una fracción del mismo. El resultante incremento de la competencia por un puesto laboral haría bajar los salarios. La remuneración a destajo ofrece un medio más eficaz de controlar el trabajo no supervisado que el pago por horas. El aislamiento de las trabajadoras de oficina en sus hogares les dificultaría la posibilidad de discutir sus reivindicaciones comunes, como pueden hacerlo ahora en la empresa, y por tanto erosionaría la organización colectiva. Lo que allanaría el camino para que el empresario pagara salarios bajos y desiguales.

Los ordenadores, al permitir que la mujer casada realizara un trabajo remunerado en el hogar, podrían influir en su modo de vida, tal como ocurrió con la máquina de coser en el siglo XIX. La costura se hizo mucho más rentable con las máquinas de coser. Sin embargo, inicialmente estas máquinas se instalaron en los talleres de los fabricantes de vestidos o de subcontratistas. En el decenio de 1890, la fabricación de modelos más ligeros y baratos adaptó las máquinas de coser para el uso doméstico. La adquisición de una máquina de coser solía ir acompañada de la realización de un trabajo remunerado en el hogar. Los anuncios de máquinas de coser incluían a veces un contrato con un fabricante de vestidos como incentivo para la compra. Si una mujer firmaba el contrato, podía pagarse la máquina de coser y ganar un dinero adicional trabajando a tanto la pieza.

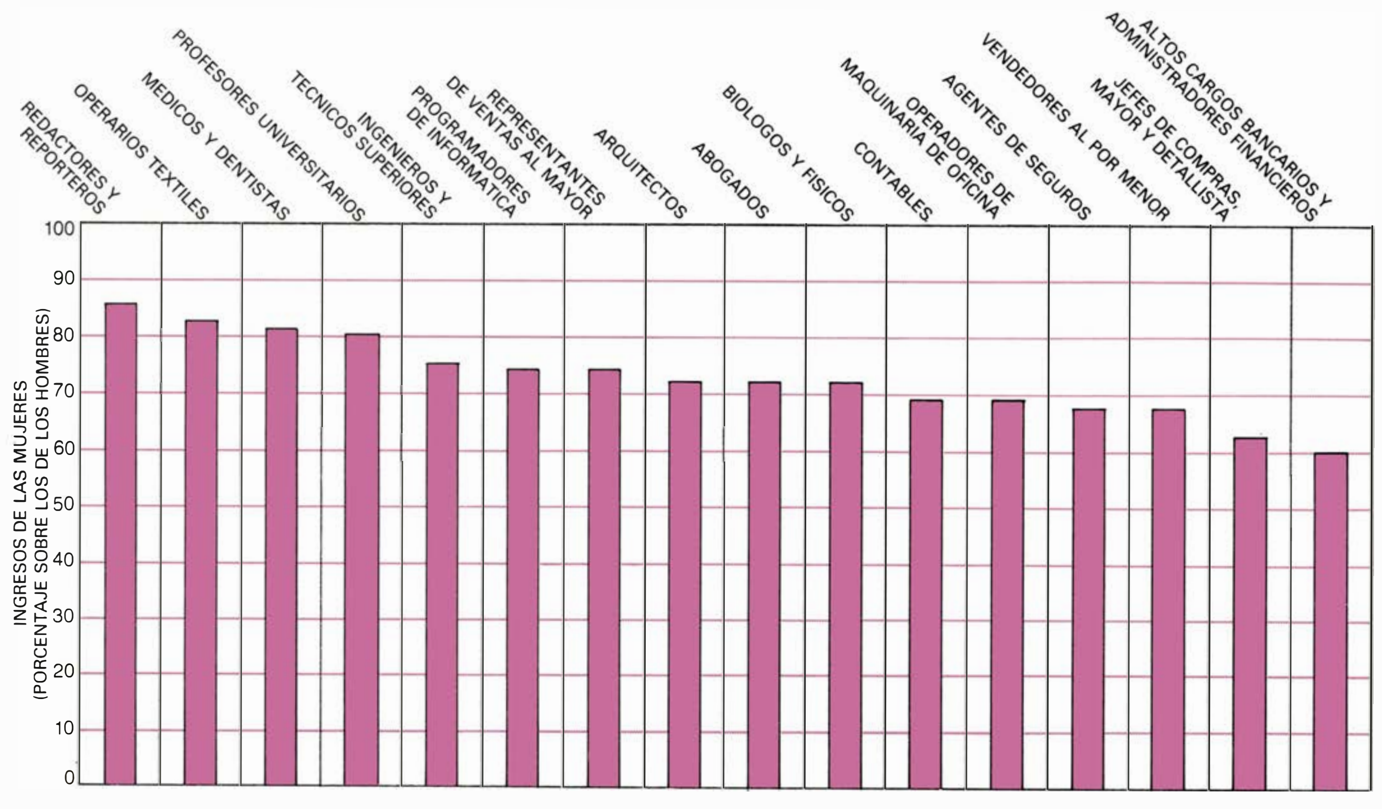
El trabajo a domicilio no era una ocupación nueva para la mujer casada. En Europa y en los Estados Unidos, las mujeres de la clase obrera urbana habían contribuido durante largo tiempo al sustento de su familia mediante este tipo de trabajo. En algunos casos, un trabajo de tipo empresarial a jornada completa se superponía a las tareas domésticas, como en el caso de las mujeres posaderas; otras pulían metales y lavaban ropa en sus casas; y había quienes hacían trabajos a destajo: confección de sombreros o flores artificiales, o hilaban seda.

Sin embargo, la costura era la ocupación más frecuente entre las mujeres casadas. La práctica de ganar un salario cosiendo en casa se extendió con el desarrollo de la industria de la confección. En las mejores circunstancias, las casadas combinaban la costura con el cuidado de los hijos y las tareas domésticas. Sus ingresos complementaban los del marido, y en algunos casos, también los de los hijos que trabajaban. Puesto que el dinero así ganado se destinaba a completar los ingresos de la familia, las mujeres disponían de cierto control sobre el ritmo de su trabajo. Coser durante unas horas diarias era una ocupación rentable mientras los hijos estaban en la escuela.

Estas mujeres relativamente afortunadas eran la minoría; la mayoría cosían porque necesitaban ganar todo el dinero que pudieran. Puesto que los patronos pagaban a tanto la pieza y las tarifas eran bajas, había que pasar largas horas ante la máquina para ganar apenas un salario de subsistencia. Algunas ocupaban todas las horas del día cosiendo y reclutaban la ayuda de cuantos miembros de la familia hubiera disponibles. Era habitual que los niños faltaran a la escuela para poder coser más prendas. La máquina de coser transfor-




**SEGREGACION DE LAS OCUPACIONES por razón del sexo. No ha desaparecido con la mecanización del trabajo. Este cuadro representa la proporción de mujeres que trabajan en determinados empleos. Los datos corresponden a 1980 y proceden del Departamento (Ministerio) de Trabajo de los Estados Unidos. Las ocupaciones en las que predominan las mujeres son, en su mayoría, no cualificadas y están mal remuneradas. Aquellas en que predominan los hombres son una mezcla de trabajos cualificados bien remunerados y trabajos manuales. Incluso dentro de una industria concreta o entre ocupaciones estrechamente relacionadas existen diferencias bien marcadas entre los trabajos femeninos y los masculinos. En tales casos, los hombres dominan en las ocupaciones mejor remuneradas. Por ejemplo, el puesto de telefonista, que se convirtió en un trabajo femenino en la década de 1880 a raíz de la mecanización y en virtud de otros factores, ha seguido siendo una tarea reservada a la mujer: en 1980 más del 90 por ciento de telefonistas eran mujeres. En cambio, entre los instaladores y reparadores de teléfonos predominaban los hombres. En 1980, más del 70 por ciento de tenderos eran mujeres. En cambio, la mayoría de los vendedores al por mayor eran hombres, con sólo un 10 por ciento de mujeres. (Histograma realizado por Alan D. Iselin.)**




**SON INFERIORES LOS INGRESOS DE LAS MUJERES a los de los hombres que desempeñan idéntica función laboral, en casi todos los campos. Las columnas representan los ingresos de la mujer como porcentaje del correspondiente al hombre. Los datos, de 1981, proceden del Departamento (Ministerio) de Trabajo de los Estados Unidos. La diferencia entre los ingresos de unos y otras oscila entre alrededor de un 40 por ciento para los empleados de banca y aproximadamente un 15 por ciento para los periodistas (redactores y reporteros de calle). La discriminación por razón del sexo existe en las ocupaciones cualificadas y en las no cualificadas, y tanto en las ocupaciones dominadas por el hombre como en aquellas en las que predomina la mujer.**

mó esos hogares en talleres de confección en miniatura. La madre hacía funcionar la máquina mientras los hijos y familiares cosían los dobladillos y pegaban los botones. A veces, las vecinas que no podían comprarse una máquina de coser propia se sumaban a la fuerza de trabajo y llevaban consigo a sus hijos pequeños, que dormían o jugaban mientras ellas trabajaban. Los reformadores sociales de principios de siglo describieron cuartos de alquiler llenos de mujeres y niños cuyas voces apenas sobresalían del ruido de la máquina de coser. Los reformadores se quejaron de las bajas tarifas pagadas por cada pieza, que obligaban a las mujeres a trabajar 15 o más horas diarias mientras descuidaban a sus hijos y sus tareas domésticas.

La máquina permitió coser las prendas más deprisa, normalizó los productos y quizá creó empleo. Pero no modificó el bajo nivel de las tarifas pagadas, ni el hecho de que la mayoría de los trabajadores a domicilio fueran mujeres y de que la mayoría de las mujeres casadas trabajaran en sus casas. En consecuencia, la mecanización de la costura no liberó del hogar a las mujeres de la clase obrera; al contrario, la máquina de coser se incorporó a las obligaciones tradicionales del trabajo de la casa.

La máquina de coser tuvo un efecto distinto sobre las mujeres que no la utilizaban como un medio para obtener unos ingresos. Las amas de casa que antes compraban ropas confeccionadas empezaron a hacerse ellas los vestidos con ayuda de patrones que se publicaban en las páginas femeninas de los diarios y revistas y se vendían en las tiendas de tejidos. La práctica de confeccionar las ropas de la familia había perdido importancia con la introducción de la confección en gran escala. Al inducir a las mujeres a recuperar la antigua costumbre, la mecanización de la costura redujo el tiempo que el ama de casa dedicaba a la actividad de consumo y aumentó su dedicación al trabajo doméstico.

La máquina de coser fue uno de los diversos instrumentos que "industrializaron" el hogar de clase media en las primeras décadas de este siglo. La lavadora, la plancha y la nevera también disminuyeron la utilización de servicios extradomésticos por parte del ama de casa urbana. Los nuevos aparatos de uso doméstico individualizaron la preparación y conservación de alimentos y la confección y mantenimiento de los vestidos y ropa blanca. En vez de comprar servicios, el ama de casa realizaba ella misma el trabajo con ayuda de sus electrodomésticos. La aspiradora y el lavavajillas tuvieron un efecto similar, aunque estos aparatos desarrollaban un trabajo que habían venido haciendo las criadas en la mayoría de hogares de clase media.

Algunos observadores de la mecanización han sugerido que existe una relación causal entre la industrialización del hogar y la entrada de las mujeres casadas en el mercado de trabajo. Suele argumentarse que los electrodomésticos redujeron el tiempo que debían dedicar las amas de casa a las tareas domésticas, hasta el punto de dejarles tiempo libre para desempeñar un trabajo remunerado fuera del hogar. John D. Durand, de la Oficina de Asuntos Sociales de las Naciones Unidas, vaticinó, en 1946, que los aparatos domésticos economizadores de trabajo "acabarían por eliminar el hogar como lugar de trabajo y a las amas de casa como grupo funcional de la población".

Sin embargo, los trabajos de Joann Vanek, de la Oficina de Estadística de las Naciones Unidas, demuestran que entre 1920 y 1960 aumentó el número de horas dedicadas a las tareas domésticas por las mujeres no empleadas fuera del hogar [véase "Time Spent in Housework", por Joann Vanek; SCIENTIFIC AMERICAN, noviembre de 1974]. Las cuatro décadas que abarca el estudio de Vanek corresponden a un período en que aumentó la población urbana en los Estados Unidos y los aparatos de uso doméstico se extendieron por todas las capas de la población. Pese a que las mujeres rurales se ocupaban de la conservación de alimentos y realizaban mucho más trabajo físico que las de la ciudad, la investigación de Vanek demuestra que las amas de casa urbanas dedicaban más tiempo a las tareas domésticas que las del campo.

Una de las razones del mayor tiempo invertido en las tareas domésticas parece haber sido la disminución de la proporción de familias urbanas que disponían de servicio. Al entrar en la década de 1920, la población de empleadas del hogar había disminuido sus efectivos, y había bajado también su proporción en el total de la fuerza laboral femenina. En 1870, un 52 por ciento de las mujeres empleadas eran sirvientas; cincuenta años más tarde, esa proporción había bajado a un 16 por ciento. La inversión en aspiradoras y lavadoras resultaba atractiva para las mujeres de clase media sin servicio doméstico; ahora bien, aunque los electrodomésticos eliminaban algunos de los trabajos más pesados, alguien tenía que hacerlos funcionar. En una casa sin servicio, el ama de casa se convirtió en la única trabajadora doméstica.

La cantidad de trabajo doméstico a realizar aumentó también al elevarse el nivel de limpieza. Ruth Schwartz Cowan, de la Universidad estatal de Nueva York en Stony Brook, ha demostrado que la introducción de los electrodomésticos llevó aparejada esa elevación. Desde los años 1890 hasta la década de 1920, el movimiento en pro de la "economía doméstica" se dedicó a presentar a las mujeres como supervisoras científicas de la salud de la familia. Artículos publicados en revistas femeninas como el *Ladies' Home Journal* insistían en la importancia de una casa impecable; los anuncios de sus páginas ofrecían jabones y productos de limpieza que ayudarían a conseguirlo. Aunque las mujeres pasaran menos tiempo barriendo, fregando y enjuagando ropa que sus madres, hacían la colada más a menudo y perdían más horas en la cola de las tiendas para comprar productos de limpieza.

El tiempo dedicado a las tareas domésticas también aumentó con la nueva importancia concedida a los principios de la educación infantil. Se esperaba que las madres fueran expertas en el desarrollo psicológico, físico y educativo de sus hijos. Los electrodomésticos simplemente permitieron que las mujeres transfirieran su atención de



**ASI TRABAJAN HOY TELEFONISTAS de un servicio de atención al público (*Traffic Service Position System*, TSPS), instalado por la Compañía Telefónica de Nueva York. Creado en 1969, el TSPS dispone de una unidad central en la que se conectan automáticamente la mayoría de las llamadas y se pasan a oficinas como ésta aquellas que requieren intervención humana. El sistema permite que los clientes reciban la asistencia de una operadora, por ejemplo para llamadas con cargo a tarjetas de crédito. El cliente, al marcar, añade un código que indica la necesidad de ayuda. La operadora toma nota del número de la tarjeta de crédito del cliente y lo introduce en el registro de la llamada. El desarrollo de la red telefónica automatizada, que eliminó las operadoras en llamadas de rutina, fue un proceso lento; en 1925, sólo un 12 por ciento de las líneas telefónicas de la compañía Bell funcionaban automáticamente. A partir de entonces, la expansión y mecanización del servicio cobraron mayor aire; de ahí que el número de operadoras aumentara de una forma muy lenta. En la década de 1910, la compañía Bell empleaba a 100.000 operadoras para siete millones de teléfonos. En 1970, 166.000 atendían a 98 millones de teléfonos.**

uno a otro tipo de actividad doméstica, sin darles en absoluto la posibilidad de escapar por completo de ella. Cowan llega a la conclusión de que "las mujeres de la clase media... no se divorciaron, no ingresaron en el mercado de trabajo ni entraron en la liza política. Estaban demasiado ocupadas esterilizando biberones, llevando a los niños a clases de música y danza, preparando comidas equilibradas, haciendo la compra, estudiando psicología infantil y cosiendo cortinas cuyos colores sintonizaran con los interiores".

La hipótesis de que las máquinas economizadoras de trabajo liberaron a las mujeres de las faenas del hogar queda aún más desautorizada si se observa que, aunque las mujeres de clase media eran las que tenían mayores probabilidades de poder adquirir aparatos electrodomésticos, éstas han constituido siempre el grupo que se ha mostrado menos proclive a realizar un trabajo remunerado fuera de casa. Existe escasa correlación histórica entre la posesión de maquinaria de uso doméstico y el trabajo asalariado. A principios de siglo, los incrementos de la fuerza laboral femenina procedieron primordialmente de las mujeres solteras que entraron en oficinas; el incremento se debió en mucha menor medida a la incorporación de mujeres casadas pobres en empleos menos deseables en las fábricas y en el servicio doméstico.

Que las mujeres que trabajaban no eran las que poseían los nuevos aparatos domésticos quedaba patente en el agudo contraste entre las viviendas de la clase media y las de un obrero. Investigadores que estudiaron las condiciones en las viviendas de los pobres, como Jacob Riis, observaron una falta de comodidades esenciales e incluso una escasez de mobiliario. Cierto investigador de un comité del Senado escribía en 1912: "nada parece cómodo, nada es agradable a la vista". Los hogares obreros mantenían su limpieza con los viejos métodos de trabajo duro y constante. Los aparatos economizadores de esfuerzo no liberaron a las mujeres de esas familias; éstas salieron obligadas por la necesidad económica.

A partir de la segunda guerra mundial se generalizaron los electrodomésticos en una extensa proporción de familias estadounidenses; con cuyo fenómeno tuvo que ver la caída de su coste relativo. También se ha producido un notorio incremento en el número de mujeres casadas, tanto de clase media como de clase obrera, que trabajan. Sin

embargo, los hechos observados indican que la mayoría de las mujeres ingresan en la fuerza de trabajo impulsadas por las presiones económicas y no por su tiempo libre. En cualquier caso, lo que induce en parte a las mujeres a trabajar es el deseo de poseer electrodomésticos más que su posesión. Se proponen ganar dinero suficiente para poder adquirir unos aparatos que prometen aliviar la doble carga del trabajo asalariado y el doméstico. Los hechos observados confirman la sugerencia de Oppenheimer en el sentido de que "el gran aumento de los aparatos economizadores de esfuerzo y servicios [es] una respuesta a un aumento de la participación laboral de las mujeres" y no la causa del trabajo asalariado.

Aunque los electrodomésticos pueden aliviar las responsabilidades domésticas de una mujer trabajadora, no eliminan en absoluto las faenas del hogar. Las trabajadoras casadas continúan compaginando las faenas de la casa con su jornada asalariada, igual que hacían sus predecesoras en la era preindustrial. Datos recogidos en el decenio de 1970 demuestran que las trabajadoras casadas dedican un promedio de unas 30 horas semanales a la casa, frente a las 50 de las amas de casa con dedicación exclusiva. Por tanto, aunque la carga del trabajo doméstico se ha reducido un poco, las mujeres trabajadoras todavía siguen prestando una cantidad significativa de tiempo a las tareas domésticas y de cuidado de los hijos. En cambio, los maridos cuya mujer trabaja apenas gastan tiempo, si es que gastan alguno, en labores domésticas. Muchas casadas pretenden combinar el trabajo asalariado con el doméstico empleándose a media jornada, lo que perpetúa la segregación ocupacional y el estatus de inferioridad de las mujeres en el mercado de trabajo.

Pese a que los últimos 200 años han constituido un período de rápida evolución tecnológica, existe una sorprendente continuidad en la posición social y económica de las mujeres al principio y al final de ese intervalo. Tanto en los trabajos fabriles como en los de oficina, la mecanización ha ido asociada a la progresiva apropiación por parte de la mujer de ciertos puestos. La maquinaria industrial se ha introducido en parte para reducir los costes salariales; los patronos han aprovechado prejuicios culturales largo tiempo arraigados sobre el menor valor del trabajo femenino para diseñar ciertos empleos presentándolos como aptos sólo para mujeres. La mecanización del hogar reafirmó la responsabilidad del ama de casa en la preparación de los alimentos, la compra y el mantenimiento de la limpieza del hogar. La mecanización ha hecho más aceptables estas responsabilidades para las mujeres de clase media, que antes las habrían confiado al servicio doméstico. Ha habido cambios en la localización del trabajo de las mujeres y en el nivel de fatiga que supone, pero no han sido cambios revolucionarios. Los cambios ocurridos en el trabajo femenino han seguido una pauta previsible: cada transformación ha ampliado la noción de una localización del trabajo femenino separada de la que corresponde al masculino y ha afianzado la idea de que el trabajo de la mujer vale menos que el del hombre.

No es mi intención negar que la posición de la mujer en la sociedad ha mejorado significativamente en determinados aspectos desde que se inició la mecanización del trabajo. A lo largo del siglo XIX se promulgaron leyes que les concedían el derecho a la educación y a la propiedad; en el siglo XX, se promulgaron leyes que les otorgaban el derecho al voto. Las costumbres sociales han modificado los criterios que decretaban las normas en materia de vestido, comportamiento en público y expresión sexual. La mujer de hoy parece tener mayores posibilidades de elección y está menos sometida a la represión y el control que lo estaba su madre. Un número creciente de jóvenes se preparan para ser mañana abogadas, físicas, profesoras de universidad o ejecutivas.

Que estos cambios alteren fundamentalmente la estructura de la sociedad o la posición de las mujeres en la misma es un hecho discutible; en cualquier caso, lo cierto es que no son resultado directo de la mecanización. Algunos pueden ser consecuencias indirectas de la Revolución Industrial. La industrialización aceleró la pérdida de importancia de la propiedad de tierras como base del poder familiar. Creó una creciente necesidad de trabajadores instruidos de ambos sexos, y por tanto de maestros, y estimuló el desarrollo de la población urbana, que requiere infinidad de servicios comerciales y atención sanitaria. Otros cambios en el estatus de las mujeres han sido producto de la introducción de métodos anticonceptivos más seguros; otros también se han debido a un desplazamiento de las edades en que la gente se casa, tiene hijos y muere.

Pero los avances más sobresalientes en la posición de la mujer se deben a la acción de la propia interesada. Cambios que constituyeron a veces una respuesta a la mecanización, aunque no fueran de suyo algo inherente a la introducción de las máquinas. Las fábricas textiles reunieron a las trabajadoras bajo un solo techo y les permitieron comprender el poder colectivo que puede ejercer la fuerza de trabajo. De este modo, las fábricas crearon las condiciones previas para la expresión organizada de las reivindicaciones laborales. Pero fueron las propias mujeres quienes reclamaron mejores condiciones de trabajo y unos salarios más altos; las reivindicaciones sólo se obtuvieron merced a la presión económica y política que ejercieron las trabajadoras organizadas sobre sus patronos.

La educación y, en la clase media, el empleo las condujeron a reivindicar la igualdad de derechos civiles, en particular el derecho al voto. Pero tardarían muchos años de organización política y (en Inglatera y los Estados Unidos) de acción pública militante para que se les reconocieran sus derechos civiles. Los electrodomésticos quizá convirtieron a las mujeres de clase media en trabajadoras domésticas y de este modo las llevaron a incorporarse al movimiento feminista en las décadas de 1960 y 1970, pero fueron ellas mismas quienes pusieron en entredicho "la mística de la femineidad". Estos ejemplos sugieren que la mecanización no alteró la posición inferior de la mujer. Al contrario, la mecanización puso de relieve su inferioridad social y provocó protestas encaminadas a mejorar no sólo unas condiciones concretas, sino también la situación general de su colectivo.

Quienes insisten en que sólo una revaluación del estatus de la mujer puede dar paso a una mayor equidad económica y a su integración en todos los sectores del mercado laboral abordan frontalmente el problema. Mientras no cambie la concepción social y cultural del valor del trabajo femenino, no podrá producirse una transformación revolucionaria del estatus de la mujer trabajadora. La mecanización sólo influye sobre las personas que trabajan y sobre la sociedad en general a través del contexto social en que se emplea la maquinaria. Para la mujer, la mecanización no ha modificado, sino que ha ratificado su valoración económica y social. Pese a las revoluciones políticas e industriales ocurridas a lo largo de los últimos siglos, para la mujer la revolución aún está pendiente.

# Distribución de trabajo y renta

*Cuando los trabajadores son desplazados por las máquinas la economía se resiente por la pérdida de poder adquisitivo. El problema se mitigó cierto tiempo acortando la semana laboral, pero esa tendencia se ha detenido ya*

Wassily W. Leontief

"Señorías: durante mi breve y reciente estancia en Nottinghamshire no pasaron doce horas sin que ocurriera algún acto de violencia; ... Fui informado de que la noche anterior habían sido destruidos cuarenta telares. Esas máquinas... ahorraban un puñado de obreros, que en consecuencia quedaban expuestos a morir de hambre. Con sólo un telar, un hombre realizaba el trabajo de muchos, y los obreros sobrantes fueron despedidos de sus puestos de trabajo... Los trabajadores rechazados, en la ceguera de su ignorancia, en vez de alegrarse por ese progreso tan beneficioso para la humanidad, se consideraron sacrificados en aras de la maquinaria."

Con esas palabras, Lord Byron, en su discurso de ingreso en la Cámara de los Lores, en febrero de 1812, trataba de explicar, y, explicándolo, de excusar, el reinicio de la protesta ludita que perturbaba el orden social inglés. Aproximadamente una generación antes, Ned Ludd había dirigido a sus compañeros trabajadores en la destrucción de las máquinas de hilar que los empresarios comenzaban a instalar en los talleres de la próspera industria textil del país. La Cámara de los Lores tenía en estudio unas leyes destinadas a exigir la pena de muerte por tales actos de sabotaje. El conde de Lauderdale remarcó la tesis de Byron de que los engañados trabajadores actuaban en contra de su propio interés: "Nada podía ser más cierto que el hecho de que cada mejora introducida en la maquinaria contribuía a la mejora de la condición de las personas que trabajaban con ellas, produciéndose poco después de la introducción de tal mejora mayor demanda de mano de obra de la que existía antes".

Diríase que la historia ha confirmado la visión optimista de los primeros abogados de la moderna sociedad industrial. El espectro del desempleo tecnológico involuntario parece no ser más que un espectro. A partir de la invención de la máquina de vapor, una serie de sucesivas oleadas de innovación tecnológica han supuesto para los países ahora industrializados, o "desarrollados", un crecimiento espectacular del empleo y los salarios reales, combinación que significa prosperidad y paz social. Gracias también a la innovación tecnológica, más de la mitad de la fuerza laboral de esos países –un 70 por ciento de la fuerza de trabajo en los Estados Unidos– ha sido liberada de las faenas del campo y de otras producciones de bienes que empleaban prácticamente a todo el mundo antes de la Revolución Industrial. También es cierto que los países menos desarrollados siguen a la espera; pero si las perspectivas para el futuro pueden basarse en la experiencia de los últimos 200 años, también esos países pueden alimentar la esperanza de avanzar, siempre y cuando sus gobiernos logren reducir sus altas tasas de crecimiento demográfico y desistan de obstruir el florecimiento del espíritu de libre empresa.

Mas hay signos de que la experiencia pasada no puede servir de guía segura para el futuro del cambio tecnológico. Con el advenimiento de la electrónica de estado sólido, las máquinas que han ido desplazando al músculo humano de la producción de bienes se están eliminando, a su vez, por máquinas que hacen las funciones del sistema nervioso humano, no sólo en tareas de producción sino también en las industrias de servicios, como se ha plasmado en los artículos precedentes de este número monográfico. La relación entre hombre y máquina se está transformando en sus raíces.

La bondad de esa relación se mide usualmente por la "productividad" de la mano de obra. Esto es, la producción total dividida por el número de obreros o, incluso mejor, por el número de horas-hombre requeridas para obtener esa producción. Así, hace 30 años se necesitaban varios miles de telefonistas para regular un millón de llamadas telefónicas a larga distancia; 10 años más tarde bastaban varios cientos de operadoras, y ahora, con las centralitas automáticas conectadas automáticamente a otras centralitas, también automáticas,




**JUNTA GENERAL DE ACCIONISTAS (*Hauptversammlung*) de la Volkswagenwerk A.G. Constituye un pilar de la economía de Alemania Occi-**

son suficientes unas cuantas docenas. No cabe duda de que la productividad de la mano de obra –esto es, el número de llamadas atendidas por operadora– ha crecido a pasos agigantados. La simple aritmética muestra que la productividad alcanzará un máximo nivel cuando sólo quede una operadora, y llegará a ser incalculable el día en que esa operadora sobre también.

El talón de Aquiles de esa medición convencional se pone de manifiesto en cuanto la aplicamos al cálculo de los efectos que producen el reemplazamiento progresivo de animales de tiro por tractores en la agricultura. Dividiendo las sucesivas cifras anuales de cosecha, primero por el número cada vez mayor de tractores y luego por el recíprocamente decreciente número de animales, se obtiene la paradójica conclusión de que, a lo largo del tiempo de transición, la productividad relativa de los tractores tendía a caer, mientras que la productividad de los animales a los que estaban sustituyendo iba creciendo. De hecho, y por supuesto, el costo-efectividad de los animales de tiro disminuía continuamente en comparación con el de los tractores, cada vez más eficaces.

En lugar de perdernos en tan vagas abstracciones, valdrá más traer a consideración y análisis los hechos subyacentes. El cambio tecnológico puede visualizarse como un cambio de las "recetas de cocina" –la combinación específica de inputs– utilizadas por las diferentes industrias para producir sus respectivos outputs. El progreso de la tecnología electromecánica permitió a la compañía telefónica sustituir la vieja receta tecnológica de llamar a través de un gran número de centralitas manuales atendidas por muchas operadoras por una nueva receta que combina centralitas automáticas más caras con menos operadoras. En agricultura, el progreso tecnológico trajo consigo la introducción de sucesivas combinaciones de inputs con menos inputs de animales y mano de obra humana y mayores y más diversificados inputs de otros tipos –no sólo equipos mecánicos, sino también pesticidas, herbicidas, vacunas, antibióticos, hormonas y semillas mejoradas.

En cada industria entran en servicio nuevas recetas a través de un proceso constante de disminución de costos. Algunos inputs incluidos en una nueva receta son, en un principio, demasiado caros, y lleva algún tiempo alcanzar mejoras en su diseño o método de fabricación que supongan una suficiente reducción de su precio, y en consecuencia del costo total de la receta, que permita la adopción de la nueva tecnología. La disminución, al ritmo casi constante del 30 por ciento anual durante muchos años, del costo por bit de memoria de una pastilla de circuito integrado condujo la tecnología de la electrónica de estado sólido, primero, a los equipos muy caros, como centralitas




**dental, al converger en ella una estrecha colaboración entre capital y trabajo. La ley de "codeterminación" de la República Federal exige que la mitad de los miembros del consejo de administración de cada empresa importante sean elegidos por el trabajo y la otra mitad por los accionistas. En esta reunión de la Volkswagen, celebrada el 1 de julio, los consejeros y los gerentes de la compañía aparecen en el estrado informando y contestando a los accionistas.**

telefónicas, pilotos automáticos, máquinas y ordenadores, después a los aparatos de radio y televisión y a los potentes ordenadores de bajo costo, creando una categoría de bienes de consumo totalmente nueva, y, más tarde, a los sistemas de control de los automóviles, a los electrodomésticos e incluso a productos tan insignificantes como los juguetes. De esta forma, la adopción de una nueva receta en una determinada industria depende a menudo de la sustitución de una tecnología vieja por otra nueva en un sector distinto, tal como ocurrió con la válvula de vacío, que fue reemplazada por el transistor y sus descendientes en la industria de transformados electrónicos.

Volviendo atrás y contemplando el flujo de materias primas y productos intermedios a través de la estructura input-output de un sistema y de la correspondiente estructura de precios, se observa que los precios reflejan más o menos fielmente el estado de la tecnología en ese sistema. Con el paso del tiempo cabe esperar que los cambios en los precios reflejen los cambios tecnológicos a largo plazo que están ocurriendo en los diferentes sectores. Con esta perspectiva, la mano de obra humana de un determinado tipo aparece como uno, y sólo uno, de los muchos inputs distintos cuyo precio debe considerarse en la reducción de costos de una receta tecnológica determinada. Su precio, el índice de salarios, entra en la comparación de costos entre tecnologías competitivas igual que el precio de cualquier otro input.

En la sucesión de cambios tecnológicos que han acompañado al crecimiento y al desarrollo económico, han aparecido en escena nuevos bienes y servicios, y los viejos, una vez cumplido su papel, han desaparecido. Tales cambios han ocurrido a diferentes velocidades y diferentes escalas, habiendo afectado a algunos sectores de la actividad económica más que a otros. Algunos tipos de mano de obra desaparecen antes que otros. A menudo, aunque no siempre, los obreros menos cualificados pierden su puesto de trabajo antes que los más cualificados. Los ordenadores toman ahora a su cargo el trabajo de los administrativos, ejecutando primero tareas simples y después tareas de tipo mental cada vez más complejas.

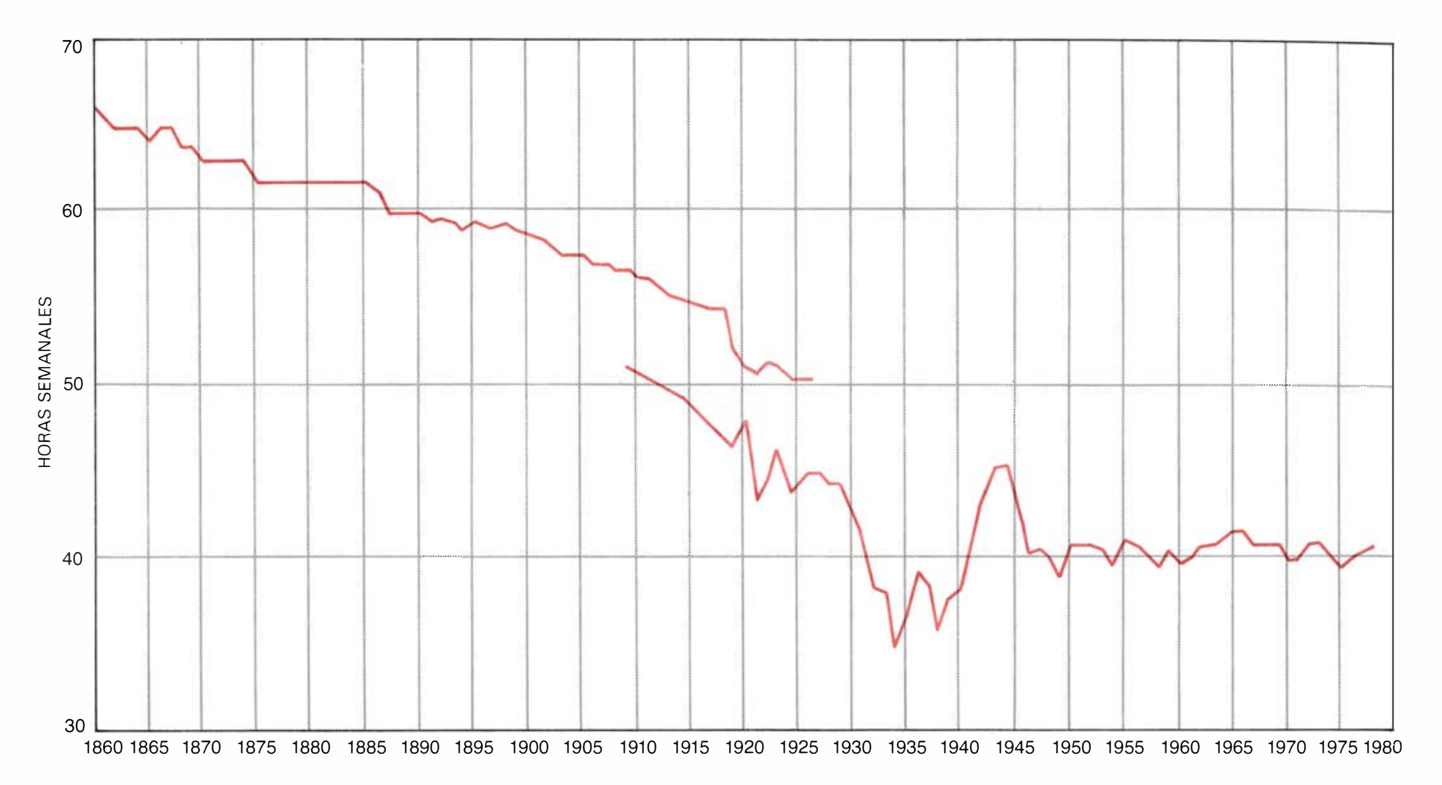
Desde tiempo inmemorial, el trabajo humano desempeñó el papel de factor principal de la producción. Hay razones para creer que no retendrá esta condición en el futuro.

Durante los dos últimos siglos, la innovación tecnológica ha supuesto un crecimiento exponencial de la producción de las economías industrializadas, que ha ido acompañado de un incremento en el consumo per cápita. Al mismo tiempo, hasta mediados de la década de 1940, se disfrutó de un alivio en el trabajo del hombre con la reducción de la jornada de trabajo, la semana laboral y el número de días laborables por año. El aumento del tiempo dedicado al ocio (y por esa razón la necesidad de aire más limpio y agua más pura) no se contabiliza en las sumas oficiales de bienes y servicios del producto nacional bruto. Sin embargo, ha contribuido notablemente al bienestar de los obreros manuales y de los empleados asalariados. Sin un aumento del tiempo libre no hubiera sido posible la generalización de la enseñanza y de la actividad cultural que distinguió a las sociedades industrializadas en los primeros 80 años de este siglo.

El acortamiento de la semana laboral media en talleres y fábricas, desde 67 horas, en 1870, hasta algo menos de 42 horas debe interpretarse también como la retirada del mercado de trabajo de muchos millones de horas de trabajo. Desde el final de la segunda guerra mundial, sin embargo, la semana laboral se ha mantenido casi constante. Oleadas sucesivas de innovación tecnológica se han ido sobrepasando unas a las otras, como siempre. El índice de salarios reales, desvalorizado por la inflación, ha seguido creciendo. Mas, todavía hoy, la duración de la semana laboral normal es prácticamente igual que la de hace 35 años. En 1977, la semana laboral de las industrias manufactureras de los Estados Unidos, corregida por el aumento de las vacaciones y de los días festivos, era de 41,8 horas.

De lo anterior resulta que la economía de los Estados Unidos ha sufrido un incremento crónico del desempleo de una oscilación del ciclo económico a otra. El 2 por ciento aceptable por los proponentes de la legislación de pleno empleo en 1945 como índice de paro irreductible llegó a ser del 4 por ciento para los dirigentes económicos de la Nueva Frontera de los años 60. Hoy el problema del desempleo en el país excede al 9 por ciento. ¿Cómo explicarlo?

**VALOR DEL STOCK DE CAPITAL empleado por hora-hombre en las industrias manufactureras de los Estados Unidos; se representa gráficamente en dólares constantes de 1967, expresados en forma de índice. Desde el final de la segunda guerra mundial casi se ha duplicado. En ese mismo período, la producción total per cápita de las industrias manufactureras norteamericanas se multiplicó por más de dos. Puesto que no ha disminuido la semana laboral (*véase la ilustración de la página 135*) y ha habido un incremento de sólo el 4 por ciento en la fuerza laboral de las fábricas, es decir de 12,8 a 13,3 millones de obreros, el aumento de la producción debe atribuirse casi enteramente a la introducción de nueva tecnología, incorporada al stock de capital, cada vez mayor, de las industrias. El desarrollo de la tecnología en esos inputs de capital es una de las funciones de la fuerza laboral administrativa "no ligada a la producción" en las industrias manufactureras, que, en ese mismo intervalo, dobló de lejos su número, pasando de algo menos de tres millones de trabajadores a cerca de seis millones. El gráfico puede interpretarse también como la representación del creciente costo de capital necesario para crear un nuevo puesto de trabajo.**




**SEMANA LABORAL DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA de los Estados Unidos, que se ha acortado desde 67 horas, en 1860, hasta alrededor de 42 horas, en 1950, y se ha mantenido constante desde entonces. Tal reducción en el número medio de horas trabajadas por semana y por empleado significa la retirada del trabajo de más de un tercio de la fuerza laboral de dicha industria. La semana laboral cayó por debajo de las 40 horas durante la Gran Depresión de los años 30 con el "reparto del desempleo" a través de trabajos a tiempo parcial, y subió muy por encima de las 40 horas a raíz de las horas extraordinarias realizadas para la industria bélica durante los años 40. La reducción de la semana laboral, junto con políticas de rentas para mantener y aumentar, cuanto lo permitiera el aumento de la producción, el ingreso real llevado a casa por la fuerza laboral, constituye una estrategia para compensar el desempleo tecnológico (*véanse las ilustraciones de las páginas 140 y 142*). La discontinuidad de la curva durante el período de 1910 a 1925 refleja un cambio en las series estadísticas temporales, consecuencia de los cambios en la contabilidad de la fracción del tiempo parcial trabajada por temporeros.**

Sin cambio tecnológico no habría, por supuesto, desempleo tecnológico. Ni habría parados si la población total y la fuerza de trabajo, en lugar de crecer, mermaran. También podrían los trabajadores permanecer en sus puestos de trabajo si aceptaran salarios más bajos. Quienes se preocupan por el crecimiento demográfico quizá proclamen que en "la existencia de demasiados trabajadores" radica la causa fundamental del desempleo. Los libertarios de la doctrina "mantén tus manos fuera del libre mercado" instan a adoptar el remedio de la reducción de salarios mediante el sistemático debilitamiento del poder de los sindicatos y a disminuir los beneficios concedidos al bienestar y al desempleo. A los defensores del pleno empleo se les ha oído proponer que se dé preferencia a las tecnologías que absorben mucha mano de obra frente a las tecnologías que la ahorran. Y una medicina más familiar recetan quienes abogan por un aumento progresivo de la inversión en una situación de crecimiento económico acelerado.

Cada uno de esos diagnósticos tiene sus defectos, y los remedios que prescriben pueden, en el mejor de los casos, ser meros paliativos. Una drástica y general reducción de los salarios podría detener temporalmente la adopción de tecnologías ahorradoras de mano de obra, aun cuando una mano de obra baratísima pudiera no competir en muchas operaciones con máquinas muy potentes o muy sofisticadas. La vieja tendencia, sin embargo, se vería obligada a aparecer de nuevo, a menos que se exigieran barreras especiales contra los incrementos ahorradores de mano de obra. Los mismos libertarios guiados, en toda su pureza, por sus principios deben vacilar al ver resueltas las cuestiones de salarios mediante una implacable competencia entre obreros surgida bajo la presión de una tecnología en continuo avance. El levantamiento de barreras luditas al progreso tecnológico traería consigo, por otra parte, una amenaza contra la salud de la economía y del sistema social mayor que la enfermedad que pretende curar.

El aumento de la inversión puede proporcionar puestos de trabajo a gente que, de otra forma, estaría desempleada. Dado el índice de progreso tecnológico, la creación de un nuevo puesto de trabajo, que hace 20 años requería una inversión de 50.000 dólares, exige ahora 100.000, y, dentro de 20 años, requerirá 500.000, incluso teniendo en cuenta la inflación. Un alto índice de inversión es indispensable, por supuesto, para hacer frente a la expansión de necesidades de una economía en crecimiento. Sin embargo, la inversión puede contribuir solamente en forma limitada a aliviar el desempleo tecnológico involuntario, ya que cuanto mayor sea el índice de inversión de capital, mayor será el índice de introducción de nueva tecnología ahorradora de mano de obra. La última fundición de cobre puesta en servicio en los Estados Unidos ha costado 450 millones de dólares y emplea menos de 50 hombres por turno.

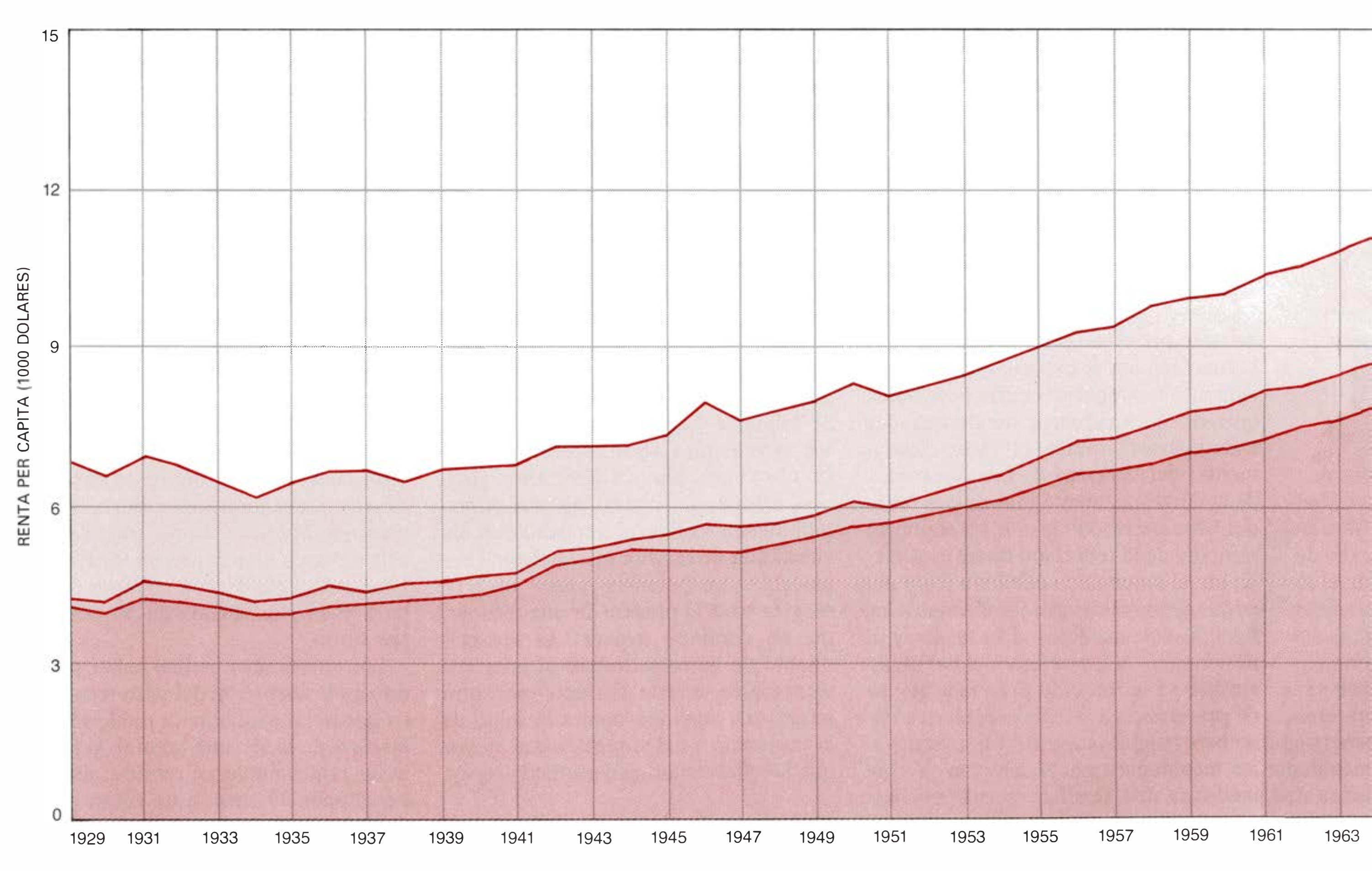
Los americanos podían haber persistido en la absorción del paro tecnológico potencial mediante la reducción voluntaria de la semana laboral, si los salarios reales hubieran crecido, durante los últimos 40 años, a un ritmo mayor de lo que lo han hecho, permitiendo expectativas de incremento no sólo en cuanto a la paga anual, sino también en cuanto a la paga total llevada a casa a lo largo de una vida de trabajo. Dadas las enormes posibilidades de reemplazar mano de obra por tecnología cada vez

más sofisticada, parece que las fuerzas impersonales del mercado no favorecen ya ese camino. En algún momento podía haberse considerado una política gubernamental dirigida a fomentar un crecimiento continuo de los salarios reales suficientemente importante para inducir a los trabajadores a reanudar la progresiva reducción voluntaria de la semana laboral. En las actuales condiciones, tales políticas requerirían tamaño incremento de la participación de los salarios en el total de la renta nacional que provocarían una disminución en la inversión productiva, que está financiada en gran manera por las ganancias no distribuidas de las empresas y por los ahorros de los grupos con mayores rentas. Ello daría por resultado una disminución inaceptable del crecimiento económico. Queda la alternativa de la acción directa para promover una reducción progresiva de la semana laboral, combinada con políticas de rentas destinadas a mantener e incrementar –tanto cuanto permita el incremento de la producción nacional total– las rentas reales de las familias de los obreros y de los empleados asalariados.

Estudios recientes patrocinados por el Departamento (Ministerio) de Trabajo de los Estados Unidos parecen indicar que el número total de horas de trabajo ofrecido por la fuerza laboral podría reducirse a cambio de horarios de trabajo más flexibles. De hecho, algunos obreros, según el grupo de edad a que pertenecen, nivel de su familia, tipo de ocupación, etcétera, estarían de acuerdo, incluso, en privarse de cierta fracción de su ingreso actual, unos por extensión de sus vacaciones anuales, otros por una jubilación anticipada o períodos sabáticos y otros por trabajar cuatro días y medio por semana en vez de cinco. La reducción de la jornada de trabajo diaria en 15 minutos resulta, dicho sea incidentalmente, una de las alternativas menos deseables. Cálculos provisionales y obviamente un poco especulativos, basados en los intercambios más deseables para diferentes grupos, llevados a cabo en esos estudios, indican que el trabajador norteamericano medio estaría dispuesto a privarse de alrededor de un 4,7 por ciento de sus ganancias a cambio de más tiempo libre. Ello significa que sobre la base de los días laborales del año 1978, el tiempo de trabajo de un empleado medio se vería reducido de 1910 horas a 1821 o, lo que es lo mismo, en más de dos semanas de trabajo por año.

Tales medidas merecen detenida consideración y, si ello fuera posible, su aplicación práctica; mas no aportan una respuesta definitiva al problema que se le presenta a largo plazo a una sociedad industrial moderna que pretende sacar partido de un constante progreso tecnológico sin tener que padecer un paro tecnológico involuntario y la consiguiente agitación social. Tarde o temprano, y muy probablemente temprano, la sociedad, cada vez más mecanizada, deberá hacer frente a otro problema: la distribución de la renta.

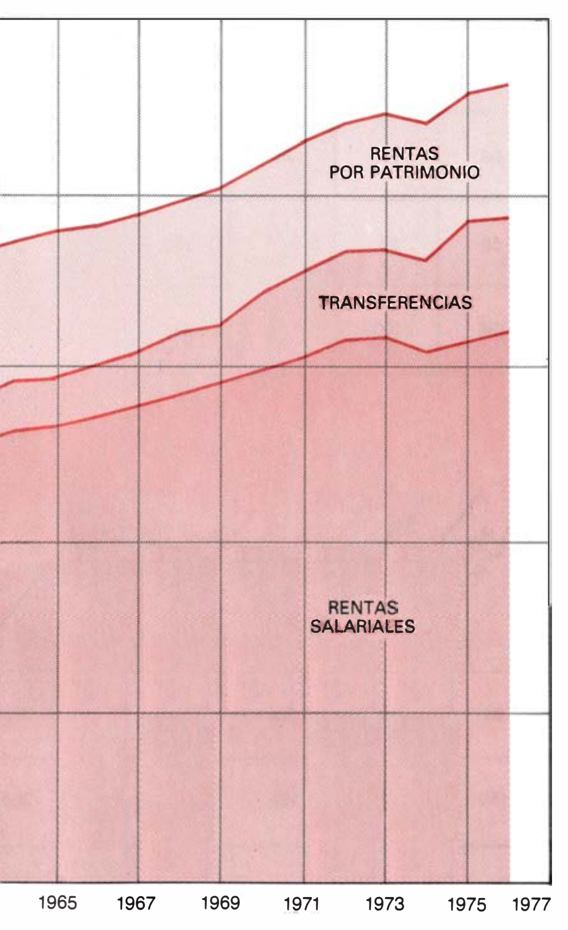
Antes de su expulsión del Paraíso, Adán y Eva gozaron sin trabajar de un alto nivel de vida. Después de su expul-




**RENTA PERSONAL PER CAPITA de los Estados Unidos, en dólares constantes de 1972. Se dobló, de lejos, desde 1929. El cambio en la participación porcentual de la renta acumulada de la propiedad, de la transferencia de pagos y de la renta salarial (o de las personas que reciben tal ingreso) refleja la evolución de los valores sociales y de las instituciones de la sociedad norteamericana. Las curvas muestran que la renta de la propiedad ha descendido desde alrededor del 40 por ciento hasta no mucho más del 15 por ciento del total de la renta personal. Parte de esta disminución refleja el cambio ocurrido en el interés por, y los beneficios obtenidos de, los pequeños negocios (en particular en los servicios de comercio y distribución al por menor), al ser sustituidos por salarios recibidos de las grandes empresas (ingresos del trabajo personal). También refleja el incremento de la retención de las ganancias**

sión, ellos y sus sucesores se vieron condenados a ganarse el pan con el sudor de su frente en una miserable existencia, trabajando desde el alba al crepúsculo. La historia del progreso tecnológico a lo largo de los últimos 200 años es, esencialmente, la historia de la especie humana haciendo lenta y constantemente su camino de vuelta hacia el Paraíso. ¿Qué pasaría, sin embargo, si de repente nos encontráramos en él? Si se nos ofrecieran todos los bienes y servicios sin trabajo, nadie estaría empleado. Si no hay empleo, no hay salarios. Por tanto, hasta que no se formularan nuevas políticas de rentas apropiadas para adaptarse a las nuevas condiciones tecnológicas, nos moriríamos de hambre en el Paraíso.

Las políticas de rentas que me vienen a la mente no establecen simplemente un incremento en los salarios mínimos legalmente fijados, en la paga por hora o en otros beneficios negociados entre las empresas y los sindicatos en las usuales discusiones de los convenios colectivos. A largo plazo, los incrementos de los costos horarios directos e indirectos de la mano de obra serían propensos a acelerar la mecanización ahorradora de mano de obra. Esta, dicho sea incidentalmente, es la explicación explícita de las políticas salariales actualmente seguidas por el gobierno benevolentemente autoritario de Singapur. Dicho gobierno fomenta el incremento rápido de los salarios reales para inducir a la libre empresa local a elevar las ya notablemente eficaces instalaciones de producción de esta ciudad-estado. Quizá no sea necesario añadir que esas políticas van acompañadas de un control estricto de la inmigración y del fomento del control de la natalidad.




**de las empresas y de la financiación de las inversiones, producido por el desvío hacia tal fin de los ingresos personales. La renta salarial ha aumentado desde el 60 por ciento del total hasta un 70. La renta destinada a transferencias (Seguridad Social y otros) representa alrededor del 15 por ciento.**

Lo que yo pienso es una combinación de medidas sociales y económicas que complementen, por transferencias procedentes de otras partes de la renta nacional, el ingreso recibido por los obreros y los empleados por el alquiler de sus servicios en el mercado de trabajo. Un llamativo ejemplo de una transferencia de rentas de este tipo obtenida automáticamente sin intervención del gobierno puede estudiarse en el efecto a largo plazo que produce la mecanización de la agricultura sobre el modo de trabajar y el ingreso obtenido en una próspera finca, digamos de Iowa. Hace medio siglo el campesino y los miembros de su familia trabajaban desde la madrugada hasta ya entrada la noche ayudados por varios caballos, posiblemente un tractor y un conjunto de simples aperos agrícolas. Sus ingresos estaban formados por lo que montaban los salarios relativos de 70 u 80 horas de trabajo por semana, más un pequeño beneficio procedente de sus modestas inversiones.

Hoy, la finca está mecanizada del todo y dispone incluso de algún sofisticado equipo electrónico. El tiempo medio de trabajo por semana es mucho más corto y de vez en cuando la familia puede tomarse unas vacaciones. Su ingreso salarial total, si se calcula a las tarifas horarias de hoy para muchas menos horas de trabajo manual, probablemente no sea mucho más alto que era hace 50 años, y cabe incluso que sea más bajo. Su nivel de vida, sin embargo, es ciertamente más elevado: la reducción de su ingreso salarial se ha visto ampliamente compensada por los ingresos recibidos de su fuerte inversión de capital en tecnología agrícola, de rápido progreso. El cambio de la vieja estructura del ingreso a la nueva ha sido paulatino y se ha realizado prácticamente sin dificultad. Sólo im-

**COEFICIENTES INPUT/OUTPUT**

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | | .25 | .40 | | |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | | .14 | .12 | | |
| SECTOR FAMILIAR | POR TRABAJO | .70 | 2.80 | | |
| | CAPITAL | .10 | .80 | | |

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | | .25 | .40 | | |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | | .30 | .20 | | |
| SECTOR FAMILIAR | POR TRABAJO | .40 | 1.00 | | |
| | CAPITAL | .81 | 1.25 | | |

**INPUTS Y OUTPUTS EN UNIDADES FISICAS**

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS (BUSHELS) | | 25 | 20 | 55 | 100 |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS (TONELADAS) | | 14 | 6 | 30 | 50 |
| SECTOR FAMILIAR | POR TRABAJO (HORAS) | 70 | 140 | | 210 |
| | CAPITAL (TONE-LADAS) | 10 | 40 | | 50 |

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS (BUSHELS) | | 31 | 32 | 62 | 125 |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS (TONELADAS) | | 38 | 16 | 26 | 80 |
| SECTOR FAMILIAR | POR TRABAJO (HORAS) | 50 | 80 | | 130 |
| | CAPITAL (TONE-LADAS) | 135 | 100 | | 235 |

**INPUTS Y OUTPUTS EN DOLARES**

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | | 50 | 40 | 110 | 200 |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | | 70 | 30 | 150 | 250 |
| SECTOR FAMILIAR | SA-LARIOS | 70 | 140 | | 210 |
| | BENE-FICIOS | 10 | 40 | | 50 |
| TOTAL | | 200 | 250 | 260 | |

| | | INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | SECTOR FAMILIAR | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| INDUSTRIAS EXTRACTIVAS | | 94 | 96 | 185 | 375 |
| INDUSTRIAS MANUFACTURERAS | | 150 | 64 | 106 | 320 |
| SECTOR FAMILIAR | SA-LARIOS | 50 | 80 | | 130 |
| | BENE-FICIOS | 81 | 80 | | 161 |
| TOTAL | | 375 | 320 | 291 | |

porta una sencilla transacción contable, ya que ahora, como hace 50 años, los dos, el ingreso salarial y la renta de capital, los obtiene la misma familia.

El efecto del progreso tecnológico sobre la industria manufacturera y otros sectores no agrícolas de la economía es esencialmente el mismo que el producido sobre la agricultura. Así debería también ocurrir en cuanto a su repercusión con respecto a la reducción de la jornada diaria y a la asignación del ingreso. Sin embargo, por diferencias en la organización institucional, no se puede esperar que esas repercusiones se produzcan a través del sistema de una forma automática. Ello ha de producirse mediante políticas de rentas cuidadosamente diseñadas. El acomodo de las instituciones existentes a las demandas y a los efectos de la mecanización ahorradora de mano de obra no será fácil. El abandono de la puritana "ética del trabajo" a la que Max Weber, de una forma muy convincente, atribuyó el éxito de la primitiva sociedad industrial, está destinado a resultar incluso más difícil y más lento. En el discurso político y popular sobre el empleo, el empleo a tiempo completo y el desempleo, con el énfasis puesto en la provisión de ingresos más que en la producción de bienes, se puede ver que la revisión de valores ha comenzado ya.

La evolución de las instituciones está también en marcha. El país está encontrando su senda hacia las necesarias políticas de rentas, en la estructura del sistema de impuestos y a través de la Seguridad Social, el seguro médico, los subsidios de desempleo y las ayudas asistenciales. Un próximo paso deseable es la reducción de las diferencias entre quienes gozan de un puesto laboral fijo y los que carecen de él. Este es el efecto de la extendida práctica europea consistente en pagar unos beneficios suplementarios a quienes trabajan menos número de horas de las normales por semana. A largo plazo, la gestión pública, y en respuesta a la incipiente amenaza del desempleo tecnológico, debería tender a asegurar una distribución equitativa de trabajo y de renta, teniendo mucho cuidado en no obstruir, ni siquiera indirectamente, el progreso tecnológico.

La puesta en práctica de tal política exige una cooperación, sistemática y estrecha, entre la dirección y la mano de obra, llevada a cabo con el apoyo del gobierno. Transferencias financieras a gran escala generan inevitablemente presiones inflacionistas. La inflación que acosa a todas las economías de mercado, a unas más que a otras, no surge de causas económicas meramente técnicas, sino que es un síntoma de problemas sociales profundamente arraigados. En los Estados Unidos es la incesante lucha entre la dirección de las empresas y el trabajador lo que mantiene siempre ascendente la espiral de los precios.

Alemania Federal, un país famoso por el éxito de sus políticas de estabilización, es al mismo tiempo elogiado como un ejemplo de economía basada en empresas no reguladas. En realidad, el éxito de las medidas antiinflacionarias del gobierno del ex-canciller Schmidt radicó en los firmes cimientos de la institucionalizada cooperación entre capital y trabajo que existía en la gestión de la industria alemana. La ley de "codeterminación" exige que la mitad del consejo de administración de cada gran empresa sea elegido por los trabajadores, estando los accionistas representados por la otra mitad. Entre los miembros elegidos por los trabajadores algunos son consejeros "exteriores", representantes de los sindicatos nacionales. Como las cuestiones de empleo y salarios constituyen sólo uno de los problemas en el amplio conjunto de temas contemplados en la agenda de esos consejos de administración, sus deliberaciones ponen en contacto activo a los empresarios y empleados de extracción obrera de la industria alemana. Esta relación no puede por menos que resultar de crucial importancia en la determinación de la naturaleza de los acuerdos alcanzados en la discusión de los convenios colectivos llevada a cabo entre las dos partes a nivel nacional.

Austria es otro país que ha resistido con éxito hasta ahora la presión inflacionista. Las relaciones entre la dirección de las empresas y los trabajadores están mediadas por arreglos institucionales muy similares a los de Alemania. El gobierno desempeña un papel mayor y más activo en las negociaciones salariales nacionales a través de los consejos de administración. Lo logra contribuyendo con proyecciones, deducidas del banco de datos de las tablas input-output del sistema de contabilidad nacional del país, que enlazan las decisiones que afectan a la industria en cuestión, que se analiza con la situación global del país. Se ha tomado ese derrotero a la hora de modelar y proyectar el impacto de las nuevas tecnologías de impresión y procesado de textos sobre la industria periodística austríaca. Esa revolución tecnológica, que desencadenó disputas de meses de duración y paros laborales en Inglaterra, Estados Unidos y otros países, se ha llevado a cabo en Austria suave y expeditiva-

**ESTRUCTURA INPUT-OUTPUT de un modelo rudimentario de economía. Se trae a colación aquí para demostrar la aplicación del análisis input-output en la estimación del impacto de la mecanización sobre el empleo en un sistema económico. Los dos conjuntos de tres tablas input-output muestran el sistema antes de la mecanización (*izquierda*) y después de la misma (*derecha*). Por mor de sencillez, el modelo de la economía se ha dividido en dos: los sectores productivos, "Industrias extractivas" e "Industrias manufactureras", por un lado, y el sector "Familias", que suministra mano de obra y capital a los sectores productivos, por otro. Una economía real estaría fragmentada en tantos sectores cuantos los permitieran los datos disponibles. Las tablas de "coeficientes input-output", en la parte superior de cada conjunto de tablas, muestran las razones entre los inputs que entran en la columna para cada sector de la tabla de "Inputs y outputs en unidades físicas", segunda empezando por arriba, y el output total situado al final de la fila de cada sector de esas tablas. Así, la tabla de coeficientes input-output antes de la mecanización, situada a la izquierda, muestra que la producción de cada tonelada de producto del sector manufacturero requiere la entrada de 14 litros (0,40 bushels) del sector extractivo y 0,12 toneladas de su propia producción, más 2,80 horas de mano de obra y 0,80 toneladas de stock de capital (en productos manufacturados) proporcionados por el sector familias. Tales coeficientes pueden obtenerse de las estadísticas sobre transacciones reales, o de los datos técnicos obtenidos de los ingenieros y de otros datos; pueden utilizarse para generar una nueva tabla de flujos de materias que satisfaga un conjunto diferente de inputs demandados en la columna del sector familias. Con precios situados en 1 dólar por 17,5 litros (2 dólares por bushel) (0,056 dólares por litro), 5 dólares por tonelada y 1 dólar por hora, y con beneficios brutos del capital situados en un 20 por ciento del valor del stock de capital (unidades físicas por precio), las columnas y filas de la tabla "Inputs y outputs en dólares", abajo a la izquierda, pueden ahora sumarse para mostrar el resultado: el valor de los inputs iguala al valor de los outputs. Puede considerarse que la fila y la columna del sector familias no forman parte de la matriz interindustrial: las entradas en su fila corresponden al valor añadido de cada industria; las entradas en su columna corresponden a las aportaciones de cada sector industrial a la demanda final. Los totales idénticos de la fila y columna del sector familias corresponden al producto nacional bruto por el lado de la producción y por el lado del consumo, respectivamente: 260 dólares en la tabla de la izquierda. En las tablas de la derecha se asume la hipótesis de invertir agresivamente en mecanización ahorradora de mano de obra. Los importantes incrementos de los coeficientes de stock de capital en los sectores extractivos y manufactureros quedan reflejados en el aumento del stock de capital, de 50 a 235 toneladas en las unidades físicas de la tabla central. La consiguiente reducción de los coeficientes de mano de obra se refleja en la disminución del input-mano de obra de 210 a 130 horas. A pesar del aumento en el precio de los productos del sector extractivo hasta 3 dólares por bushel (0,085 dólares por litro), debido al incremento de la escasez de recursos, el modelo de economía más eficaz produce ahora productos manufacturados al reducido precio de 4 dólares por tonelada, y aumenta su producto nacional bruto hasta 291 dólares. Sin embargo, al descender el índice de empleo, la renta salarial baja de 210 a 130 dólares. Para mantener el consumo se requeriría, por tanto, una desviación de la renta dentro del sector familias desde el beneficio sobre el capital invertido hacia la renta salarial y la renta recibida vía transferencias, como ocurre en la economía real de los Estados Unidos.**

| | OBREROS | | | | EMPLEADOS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PUESTOS DE TRABAJO AFECTADOS | REDUCCION EN LA MANO DE OBRA UTILIZADA | PUESTOS DE TRABAJO AFECTADOS EN 1990 | DISMINUCION DEL EMPLEO | PUESTOS DE TRABAJO AFECTADOS | REDUCCION EN LA MANO DE OBRA UTILIZADA | PUESTOS DE TRABAJO AFECTADOS EN 1990 | |
| AGRICULTURA Y BOSQUES | — | — | — | — | .01 | .50 | .200 | .001 |
| MINERIA | .68 | .50 | .072 | .025 | .10 | .50 | .038 | .019 |
| INDUSTRIA DEL PETROLEO | .60 | .50 | .235 | .059 | .20 | .50 | .076 | .008 |
| VIDRIO | .60 | .50 | .069 | .021 | .12 | .50 | .059 | .008 |
| INDUSTRIA ALIMENTARIA | .55 | .50 | .114 | .031 | .10 | .50 | .154 | .008 |
| INDUSTRIA TEXTIL | .85 | .67 | .390 | .222 | .10 | .50 | .208 | .010 |
| INDUSTRIA DEL VESTIDO | .89 | .67 | .210 | .125 | .07 | .50 | .177 | .004 |
| PRODUCTOS QUIMICOS | .55 | .67 | .300 | .111 | .20 | .50 | .206 | .021 |
| METALES BASICOS | .73 | .50 | .369 | .135 | .13 | .50 | .182 | .012 |
| MAQUINARIA | .70 | .77 | .480 | .259 | .13 | .50 | .219 | .014 |
| PRODUCTOS METALICOS | .80 | .67 | .215 | .115 | .13 | .50 | .195 | .013 |
| INDUSTRIA ELECTRICA | .65 | .67 | .700 | .305 | .13 | .50 | .220 | .014 |
| EQUIPOS DE TRANSPORTE | .50 | .67 | .352 | .118 | .13 | .50 | .219 | .014 |
| PRODUCTOS FORESTALES | .75 | .67 | .075 | .038 | .10 | .50 | .118 | .006 |
| DERIVADOS DE LA MADERA | .75 | .67 | .075 | .038 | .10 | .50 | .118 | .006 |
| PAPELERAS | .85 | .67 | .400 | .228 | .12 | .50 | .464 | .028 |
| DERIVADOS DEL PAPEL | .85 | .50 | .429 | .182 | .12 | .50 | .374 | .022 |
| CONSTRUCCION | — | — | — | — | .07 | .50 | .200 | .007 |
| INSTAL. ELECT., GAS Y AGUA | .23 | .50 | .235 | .027 | .22 | .50 | .200 | .022 |
| COMERCIO | .53 | .80 | .100 | .042 | .18 | .50 | .200 | .018 |
| INFORMATICA | .41 | .67 | .020 | .005 | .11 | .50 | .200 | .022 |
| BANCOS Y SEGUROS | — | — | — | — | .70 | .50 | .400 | .140 |
| HOTELES Y RESTAURANTES | — | — | — | — | .02 | .50 | .200 | .002 |
| OTROS SERVICIOS | — | — | — | — | .12 | .50 | .200 | .012 |
| VIVIENDA | — | — | — | — | — | 1.00 | 0 | — |
| GOBIERNO | — | — | — | — | .64 | .50 | .180 | .058 |

**IMPACTO DE LA MECANIZACION sobre los puestos de trabajo en Austria. Se trata de cálculos proyectados, industria por industria, realizados por ingenieros y otros expertos para un estudio de tipo input-output sobre los efectos de la mecanización en la economía austríaca [*véase la ilustración siguiente*]. La primera columna de las dos partes de la tabla, la encabezada por obreros y la encabezada por empleados, muestra el porcentaje de puestos de trabajo potencialmente afectados por la tecnología existente en 1980, aunque todavía no se haya introducido en las cadenas de producción o en las oficinas; la segunda columna muestra el porcentaje de reducción en la utilización de mano de obra en aquellas tareas potencialmente afectadas por las nuevas tecnologías; la tercera columna recoge el porcentaje estimado de los puestos de trabajo que se perderían en 1990 si se hiciera un uso total de la tecnología, y la cuarta columna muestra el porcentaje de reducción probable del empleo en 1990, que resulta de los otros tres porcentajes. Nótese el elevado porcentaje de puestos de trabajo de obreros potencialmente afectados, comparado con el casi invariable y corto número de puestos de trabajo de empleados afectados, y la mayor (en muchos casos) disminución potencial de las necesidades de mano de obra en las funciones productoras de los obreros, comparada con la disminución uniforme del 50 por ciento que se espera en las funciones de oficina, consecuencia de la aplicación de una tecnología de similar calibre.**

mente mediante una íntima colaboración entre la dirección de las empresas y los trabajadores, de acuerdo con planes detallados desarrollados por el gobierno. Hasta 1980, cuando la marea de la segunda crisis del petróleo, reforzada por la recesión en la economía de los Estados Unidos, alcanzó a Austria, el índice anual de inflación se había mantenido por debajo del 4 por ciento, y el desempleo era inferior al 2 por ciento.

Abundan, en las publicaciones empresariales, informes comerciales y prensa popular, los artículos sobre "automatización" y "robótica" y las especulaciones sobre el impacto en la economía de esos desarrollos; pero sólo los organismos científicos adscritos a la administración pública austríaca han realizado una estimación sistemática de las consecuencias prospectivas de la presente revolución producida en tecnología ahorradora de trabajo en una moderna sociedad y economía industrializada. Dicho estudio, realizado para el gobierno por la Academia Austríaca de las Ciencias y por el Instituto Austríaco de Investigación Económica, ha utilizado el banco de datos de las tablas input-output del país para construir un modelo de la economía nacional de 1976. El modelo se utilizó a continuación para desarrollar, en palabras de Hertha Firnberg, ministro para la ciencia, en su introducción al informe del estudio [véase "Bibliografía", página que cierra este número] "en vez de pronósticos incondicionales –de horror o júbilo– proyecciones en forma de escenarios alternativos... para analizar en términos cuantitativos los efectos combinados de medidas económicas, sociales y educativas".

En el análisis input-output, las transacciones interindustriales que intervienen en la producción del rendimiento total de un sistema económico se disponen en forma de matriz, con los outputs o producciones de cada sector industrial mostrados en sus filas y los inputs que obtiene de otros sectores industriales en su correspondiente columna. La relación de cada input sobre el output del sector –coeficiente input-output– refleja la necesidad de tecnología para cada input; éste, aunque se expresa normalmente en valores monetarios, se visualiza mejor en las unidades físicas apropiadas, ya sean toneladas, medidas de volumen, barriles, kilowatt u horas-hombre [*véase la ilustración de la página 138*]. La columna de coeficientes input-output presenta, por tanto, la receta de inputs requeridos por el estado de la tecnología reinante involucrada en la producción de un bien de ese sector industrial. Al pie de la columna, el input de tipo humano se especifica por las diferentes clases de mano de obra suministrada por el sector familiar.

En el caso austríaco hubo que construir nuevos conjuntos de coeficientes input-output que reflejaran los cambios en la estructura de inputs de todos los sectores de la economía obtenidos presumiblemente por la adopción de nueva tecnología ahorradora de trabajo. Los efectos de esos cambios podían calibrarse en las simulaciones por comparación con los valores obtenidos de las transacciones interindustriales existentes en 1976. La información necesaria para la construcción de los nuevos coeficientes se obtuvo de amplios y completos cuestionarios, distribuidos entre los especialistas de cada campo y de entrevistas con directores técnicos responsables de las principales empresas industriales y de servicios.

Con todos esos datos incluidos en el modelo, se prepararon cinco proyecciones alternativas que describían con gran detalle el estado probable de la economía austríaca en los años 1985 a 1990. El conjunto de hipótesis que condiciona cada proyección difiere de una a otra en lo relativo al índice de adopción de tecnología ahorradora de mano de obra, el grado de apoyo en proveedores de nuevos equipos nacionales por oposición a los extranjeros, la apreciación más o menos optimista del estado de la economía mundial y, por último, mas no el postrero en importancia, la longitud de la semana laboral, por su efecto en la distribución del empleo entre sectores y el índice de desempleo.

De entre el conjunto de ricas y provocativas indicaciones para el futuro que resultan de la inspección detallada de varias proyecciones, bastará citar sólo algunas para cumplir el propósito de ese análisis. Las proyecciones que llevan el presente estado de la tecnología ahorradora de mano de obra a su total aplicación en todos los sectores de la economía austríaca para 1990 producen, en todos los casos, el mayor incremento del producto interior bruto y también el nivel más alto de paro, un desempleo del 10 por ciento, nivel no conocido en Austria desde los sombríos días de los años 30. Con la reducción de la longitud de la semana laboral en el máximo grado de mecanización, la dirección de los cambios positivos y negativos se mantiene igual, pero sus magnitudes absolutas se reducen. El desempleo en este caso resulta próximo a la

civilizada experiencia austríaca del 2 por ciento.

No disponemos todavía de un estudio semejante para el caso de la economía norteamericana. El régimen fiscal de inanición de las agencias federales de estadística las tienen hoy clasificando datos de las transacciones interindustriales de 1977, cuya publicación no saldrá antes de 1984. El estudio austríaco presenta el mejor modelo utilizable para la proyección de las condiciones de los Estados Unidos en 1990. La economía austríaca representa sólo un 3 por ciento de la economía norteamericana, pero está también altamente industrializada y diversificada. Con un esfuerzo de imaginación, la proyección austríaca de alto grado de mecanización, apoyada por una rápida expansión de la industria manufacturera nacional de todo tipo de productos electrónicos, puede interpretarse como un guión de los cambios estructurales que la economía de los Estados Unidos experimentará en lustros venideros.

El período de tiempo cubierto por esas proyecciones es corto. Además, se cuenta con las consecuencias de la aplicación de la mecanización en 1980, como muy tarde, lo que quedará obsoleto en seguida ante el rápido avance de las principales tecnologías. A pesar de todo, las cifras arrojan alguna luz sobre las dimensiones cuantitativas del profundo reto que una sociedad industrial avanzada debe ahora comenzar a encarar bajo el impacto de la persistente Revolución Industrial. La historia, incluso la reciente, muestra que las sociedades han respondido a tales enfrentamientos con una revisión de sus instituciones económicas y valores sociales conducentes al uso eficaz de la tecnología en evolución y al aprovechamiento de sus ventajas para el bienestar popular. La historia muestra también que hubo sociedades sin capacidad de respuesta, que sucumbieron al estancamiento económico y al progresivo deterioro social.

| | 1976 (REAL) | 1990 (PROYECCIONES) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SEMANA LABORAL SIN CAMBIOS | | SEMANA LABORAL REDUCIDA | | |
| | | SIN MECANIZACION | MECANIZACION MAXIMA | SIN MECANIZACION | MECANIZACION PARCIAL | MECANIZACION MAXIMA |
| PRODUCTO INTERIOR BRUTO (EN $10^9$ CHELINES AUSTRIACOS) | 738 | 1,180 | 1,190 | 1,113 | 1,114 | 1,148 |
| INVERSION | 197 | 365 | 365 | 365 | 365 | 365 |
| CONSUMO PRIVADO | 416 | 654 | 675 | 596 | 607 | 619 |
| CONSUMO PUBLICO | 133 | 172 | 174 | 162 | 163 | 168 |
| EXPORTACIONES | 255 | 619 | 624 | 584 | 585 | 603 |
| IMPORTACIONES | 262 | 631 | 648 | 595 | 605 | 606 |
| PRODUCTO INTERIOR BRUTO POR PERSONA EMPLEADA (EN $10^3$ CHELINES AUSTRIACOS) | 229 | 366 | 390 | 326 | 340 | 341 |
| SALARIOS PER CAPITA (EN $10^3$ CHELINES AUSTRIACOS) | **101** | **150** | **159** | **131** | **136** | **137** |
| SEMANA LABORAL MEDIA (EN HORAS) | **42.1** | **39.6** | **39.9** | **35.2** | **35.3** | **35.3** |
| POBLACION DESEMPLEADA (EN 1000 PERSONAS) | **55** | **220** | **386** | **29** | **165** | **76** |
| POBLACION EMPLEADA (EN 1000 PERSONAS) | **3,222** | **3,221** | **3,056** | **3,413** | **3,277** | **3,366** |
| HOMBRES | 1,936 | 1,883 | 1,802 | 2,004 | 1,934 | 1,989 |
| MUJERES | 1,287 | 1,338 | 1,254 | 1,409 | 1,343 | 1,376 |

**IMPACTO DE LA MECANIZACION EN LA ECONOMIA de Austria en 1990, proyectado en chelines austríacos constantes de 1976 mediante simulaciones en ordenador de un modelo de matriz numérica que recoge la estructura input-output de la economía (*véase la ilustración de la página 138*). Dichas simulaciones han explorado lo que ocurre con distintos conjuntos de hipótesis incorporadas al modelo para producir las columnas de cifras ofrecidas arriba, donde se comparan las diferencias resultantes para las características esenciales del sistema. La columna izquierda muestra el estado real de la economía en 1976. La primera columna de las que abarca el rótulo "semana laboral sin cambios" muestra la economía proyectada para 1990 en el supuesto de que no varíe el grado de mecanización alcanzado en 1976. La segunda columna muestra la economía proyectada admitiendo que la mecanización que emplea tecnología existente en el momento de efectuarse el estudio (1980), e incorporada en equipos importados, principalmente, tenga una incidencia máxima sobre los puestos de trabajo mostrados en la tabla de la ilustración anterior. Bajo el rótulo "semana laboral reducida", las tres columnas, de izquierda a derecha, ofrecen las proyecciones bajo las hipótesis de (1) que no existan cambios en el estado de mecanización de 1976, (2) que la mecanización sea parcial, esto es, la realización (de nuevo con equipo mayormente de importación) del 50 por ciento del impacto sobre los puestos de trabajo mostrados en la tabla de la ilustración precedente y (3) la máxima mecanización con equipos mayoritariamente producidos dentro de la propia economía. La inspección de la tabla muestra que la máxima mecanización con la semana laboral sin cambios verifica el mayor producto nacional bruto en 1990 (aunque éste sea solamente 10 millones de chelines más que la proyección basada en la mecanización de 1976), pero, al mismo tiempo, provoca el mayor índice de paro. La reducción de la semana laboral disminuye el nivel de desempleo en el año 1990 hasta cerca del 2 por ciento, incluso con la mecanización máxima.**

# Temas metamágicos

## *¿Mecanizar la inspiración?*

Douglas R. Hofstadter

Siempre que una mente brillante da con una idea nueva o engendra una obra de arte suele sostenerse que ha existido una "chispa creadora", que se ha producido "un salto de la imaginación irreductible al análisis". En ocasiones oímos decir que los grandes creadores se encuentran "un salto cuántico" más allá de los mortales ordinarios. Hay quien mantiene que personas como Mozart han estado de alguna forma inspirados por el hálito divino, que han tenido mágicas visiones, de las que no pueden dar razón, lo mismo que la araña no puede explicar como teje su red maravillosa. Es un don que se juzga demasiado profundo, demasiado oculto para que pueda reputarse "mecánico" en sentido alguno. "Ustedes seguramente podrán mecanizar su *lógica*", suele retrucarle el profesor de literatura al experto en computación, "pero nunca podrán poner un dedo sobre la *poesía*". (Puede reemplazarse poesía por música o cualquier otro campo de actividad artística.)

¿Son irracionales los enunciados de este tipo? ¿Son reflejo del temor, profundamente arraigado, a que incluso este sacrosanto aspecto del ser humano pueda quedar apresado en máquinas o microcircuitos de silicio? ¿Por qué tanto ruido en torno a una actividad de la mente humana que, como todas las demás actividades de nuestras vidas, tiene grados y matices? Después de todo, lo creativo y lo mundano se difuminan tan gradualmente uno en otro que parecería vano esforzarse en espumar lo verdaderamente creativo de lo que no lo es. ¿Existe tal vez una línea divisoria nítida que separe al artesano compositor de tonadillas del Gran Autor de Obras Maestras Sinfónicas Inmortales? Y caso de existir, ¿será posible que resida en ella la escurridiza diferencia entre lo vivo y lo inanimado, entre lo humano y lo maquinal, entre lo intelectivo y lo mecánico?

Evidentemente, al darle a la creatividad este enfoque "mágico" se plantea un problema. Parece, en efecto, deducirse que el pobre compositor de tonadillas es interiormente un ser mecánico e inanimado, que sólo los grandes genios con certificado de garantía, como Mozart, son cualitativamente distintos de las máquinas, e incluso, que Mozart sólo trascendía la mecanicidad al componer; no, desde luego, al tomar una cerveza en la posada. Sin duda, casi todos los creyentes en la magia de la creatividad impugnarían esta descripción de sus puntos de vista. Mantendrían sin duda que Mozart era en todo momento un ser no-mecánico, y más todavía, que usted y yo, no menos que Mozart, somos igualmente no-mecánicos en todo momento. El hecho de que algunas, muchas incluso, capacidades humanas hayan sido mecanizadas o vayan a serlo algún día es, para ellos, irrelevante.

Muchas personas cultas, al opinar sobre la delicada e irritante cuestión de la posibilidad de mecanizar "lo mental", se manifiestan convencidas de que si bien algún día habrá máquinas capaces de actuar convincentemente como personas, la actuación de la máquina será inevitablemente obtusa y deslucida, y que al cabo de un rato su falta de lucidez e ingenio será perceptible; no nos quedará duda entonces de que la máquina carece de originalidad, de que sus ideas y pensamientos están en su totalidad extraídas de algún "almacén" de fórmulas y clichés, de que, en última instancia, no hay tras su fachada nada vivo y dinámico –de que no hay *élan vital*. Puede que no haya nada específico que objetar, salvo esos indicios de mediocridad y carencia de ideas propias, que al cabo de un rato empezarán a llegarnos clara y distintamente. (Por cierto, me encantaría que alguno de los más locuaces antimecanicistas compartiera esta opinión, en lugar de insistir tanto, como acostumbran, en que las pruebas de carácter operativo o funcional no tienen valor para decidir qué o quién posee "estados mentales genuinos".)

Esta idea de que la falta de "chispa" de su diálogo terminaría por hacernos "saber" que estamos tratando con una máquina y no con una persona parece depender de una presunción tácita acerca del pensamiento humano –con la que estoy enteramente de acuerdo– a saber, que la "chispa creadora" no ha sido, a lo largo de los siglos, patrimonio exclusivo de unos cuantos individuos excepcionales, sino que, por el contrario, es ingrediente intrínseco de la actividad mental de todos nosotros, por poco distinguidos que seamos. En breve, parece como si los apóstoles de la inferioridad de las máquinas –incluso de las máquinas inteligentes– estuvieran apoyándose tácitamente en la tesis siguiente: La creatividad es parte del tejido del pensamiento humano, y no es subproducto raro, esotérico y excepcional de la capacidad de pensar, ni es tampoco fruto del azar, que alcance la superficie sólo de tanto en cuanto.

Tesis que yo comparto. En lo que disiento de los antimecanicistas es en si la creatividad se encuentra *más allá* de la inteligencia. A mi juicio, creatividad y comprensión profunda, tanto para personas como para hipotéticas máquinas, están intrínsecamente fundidas con la inteligencia, y por ello me resulta imposible imaginar que una máquina sea no-creativa y al mismo tiempo inteligente; cosa que en su afán por sentar sus tesis acerca de lo intrínsecamente humano los antimecanicistas sí parecen dispuestos a conceder. A mi juicio, la frase "inteligencia no creativa" es contradictoria en sus mismos términos.

Me gustaría en esta sección exponer algunas de las ideas que tengo acerca de cómo la creatividad está fundada en mecanismos. Mecanismos, desde luego, profundamente sumergidos en las honduras estructurales de nuestro cerebro, pero mecanismos que sin duda existen, y que tal vez puedan incluso compararse con las máquinas y programas de que hoy disponemos, pese a lo muy burdos que puedan ser en ciertos aspectos. El *quid* de mi idea es que tener creatividad es consecuencia automática de tener en una mente representaciones idóneas de *conceptos*. La creatividad no es algo añadido después. Está integrada en la forma de ser de los conceptos. Enunciado más concretamente, si se ha tenido éxito en construir un modelo preciso y afinado de los conceptos se habrá igualmente tenido éxito en construir un modelo del proceso creativo, e incluso, de la consciencia.

Otra forma de hablar de los conceptos es hablar acerca de la memoria, que es el "lugar" donde se almacenan los conceptos. Es la organización de la memoria lo que define qué son los conceptos. Incidentalmente, la primera vez

que escribí la frase anterior le dí distinta redacción. Rezaba entonces así: "Es la organización de memoria lo que define qué conceptos serán accesibles según las condiciones". Al releer la frase tuve la impresión de que así enunciada era demasiado débil: daba por supuesto que todos los lectores tendrían concepto claro de lo que es un concepto. ¡Difícilmente podríamos dar por hecha cosa tal! Concedido; todos tenemos *algún* concepto de lo que es un concepto, ¿pero tenemos un concepto *claro*?

Por consiguiente, suprimí la frase que comenzaba "serán accesibles" y la sustituí por "son". De esta forma, la frase hace mucho más que limitarse a enunciar que la memoria es un almacén de ciertos entes llamados conceptos. No; ahora hace resaltar que el carácter "conceptual" de algo viene dado precisamente por el modo en que ese algo se encuentra integrado en la memoria. O recíprocamente, nada es un concepto excepto en virtud del modo en que se encuentra enlazado y conectado con otras cosas que son también conceptos. Dicho todavía otra vez, con nuevas palabras, la propiedad de ser un concepto es una propiedad de "conectividad", una cualidad que emana de encontrarse integrado en una especie de red; y solamente de eso. Así expresado, los conceptos vienen a ser a modo de propiedades estructurales, e incluso topológicas, de los vastos, laberínticos, enmarañados y pegajosos *spaghetti* mentales.

Más o menos, ésta es la imagen que yo creo importante hacer ver: que los conceptos extraen toda su potencia de su mutua interconexión. Una vez expresada esta idea puedo retornar a la primitiva versión de mi frase: "Es la organización de la memoria lo que define qué conceptos serán accesibles según las condiciones". Y sin duda, la clave y esencia de lo creativo es la elección del concepto idóneo en el momento oportuno. Por consiguiente, para plantear la cuestión "¿qué es un concepto?" resulta imperativo estudiar profundamente la naturaleza de dicha red.

He aquí algunas cuestiones que en seguida se nos vienen a las mientes: ¿Cuál es la relación entre los conceptos generales, por ejemplo, las cualidades en sentido platónico, como el concepto de "árbol", y los conceptos que nos formamos de árboles específicos? Esto es, ¿cuál es la relación entre las *categorías* semánticas, o perceptuales, y las representaciones de *ejemplos* individuales pertenecientes a tales categorías? ¿De qué procedimientos se vale la memoria para archivar un acontecimiento dado de forma que en el futuro tengamos acceso a él desde una enorme variedad de situaciones –acceso que frecuentemente se consigue por analogía, o por senderos abstractos, más que por rasgos simplistas y superficiales? O bien, puestos a examinar también el reverso de esta moneda, ¿de qué forma puede una determinada situación conducirnos a la rememoración altamente selectiva de un reducido número de situaciones en apariencia relevantes con respecto a aquélla? Tan sólo gracias a una profunda comprensión de la organización de la memoria –lo cual equivale a responder la pregunta: "¿qué es un concepto?" –será posible conseguir modelos del proceso creativo. Será éste un proceso tan largo como arduo, que no proporcionará respuestas en breve plazo, tal vez, ni siquiera en varios decenios. No obstante, se han dado ya los primeros pasos en la dirección correcta, en las ciencias de psicología del conocimiento y de inteligencia artificial. Indudablemente, neurocientíficos y filósofos habrán de contribuir también.

Una cuestión que se plantea en el punto de partida es: ¿qué clases de objetos tienen conceptos almacenados en su interior y cuáles no? Un párrafo del libro *Mechanical Man: The Physical Basis of Intelligent Life* (cuyo título podemos traducir por "El hombre mecánico. Bases físicas de la vida inteligente"), escrito por Dean E. Wooldridge (McGraw-Hill Book Company, 1968), deja la cuestión totalmente al descubierto:

"Llegado el momento de la puesta de los huevos, la avispa *Sphex* excava un refugio a propósito y busca un grillo, al que con la picadura de su aguijón paraliza, pero no mata. La avispa arrastra al grillo hasta la madriguera, deposita los huevos a lo largo de él, cierra el refugio y se aleja volando para nunca volver. A su debido tiempo, los huevos rompen y las larvas de la avispa se alimentan a expensas del grillo paralizado, que estando vivo no se ha descompuesto, como si hubiera sido conservado en una especie de congelador. A la mente humana, un proceder tan organizado, minucioso y, en apariencia, de tan clara finalidad, le comporta un aroma de lógica y esmerada reflexión... hasta que el proceso se examina con mayor detalle. Por ejemplo, la rutina de la avispa consiste en traer al grillo paralizado hasta el refugio, dejarlo en el umbral, penetrar en la cuevecilla para cerciorarse de que todo está en orden, salir al exterior y entonces arrastrar el grillo al interior. Si, mientras la avispa está dentro girando su inspección preliminar, apartamos el grillo cinco o diez centímetros, la avispa, al emerger de su cueva, volverá a arrastrar el grillo hasta el umbral, pero no hasta adentro, y repetirá todo el protocolo preliminar, volviendo a entrar en la cueva para ver que todo esté en orden. Si nuevamente apartamos al grillo mientras la avispa está dentro, otra vez llevará al grillo hasta el umbral y penetrará en la cueva para la comprobación final. A la avispa nunca se le ocurre introducir directamente al grillo en el refugio. En una ocasión toda esta rutina fue repetida 40 veces, siempre con idéntico resultado."

Alguien podría hacer notar que no era la avispa quien rehacía un camino trillado, sino el experimentador. Bromas aparte, tenemos aquí una horripilante demostración de cómo una conducta, en apariencia reflexiva, de un ser vivo tiene en realidad sustento mecánico.

Hay en el proceder de la avispa algo que se nos presenta como de suprema inconsciencia, una cualidad totalmente contraria a lo que nosotros, los seres humanos, pensamos que hemos de ser, particularmente al referirnos a nuestra propia consciencia. Propongo que llamemos "esfexidad" a la cualidad que manifiesta la avispa *Sphex* y "antiesfexidad" a la cualidad contraria. Propongo, en consecuencia, que la consciencia es sencillamente la posesión de antiesfexidad en el máximo grado posible. Mi tesis es que esfexidad y antiesfexidad son dos extremos de un continuo. Daré unos cuantos ejemplos situados a lo largo de ese continuo, comenzando por el más esféxico y concluyendo con el más antiesféxico.

1. Un disco rayado. Que puede resultar particularmente molesto si la pieza grabada en él es de vibrante dinamismo (como la música del compositor contemporáneo Steve Reich), cuya ilusión de vitalidad queda destrozada al saltar la aguja y repetirse mecánicamente, una y otra vez, el mismo pasaje.

2. La propia avispa *Sphex*, y ejemplos análogos tomados del mundo de los insectos. Supongamos, por ejemplo, que haya un mosquito en su dormitorio. Intenta usted matarlo de un pantuflazo, pero falla. El mosquito echa a volar, dando vueltas por la habitación, despistándole. Al cabo se posa de nuevo en la pared, y usted lo localiza. Nuevamente intenta usted el tantarantán, y nuevamente falla. Conforme se desarrolla el ciclo, ¿se percata el mosquito de la repetición? ¿Comienza el mosquito a darse cuenta de que se está hacien-

do una tentativa deliberada de aniquilarlo? ¿Le parecerá cada nuevo golpe igual de nuevo e imprevisto que el anterior? ¿Llegará el mosquito a formular el concepto de "agente animado cuyo deseo es borrarme del mapa"? Desdichadamente para el mosquito –y afortunadamente para usted– ello parece sumamente improbable.

3. Una punta de ganado, en un corral, esperando ser marcada. Hay una conmoción y tumulto general, que se origina con el alboroto que cada res produce en el momento de ser marcada, y que se propaga por las cercanas a ella. ¿Reconocen una por una las vacas del corral el esquema general del proceso? El estado de agitación creciente de cada una de ellas, ¿es debido a la percepción de lo que va a ocurrirle, o siente nada más una aprensión vaga, tal vez por elevarse algún nivel hormonal, pero carente de significado específico o de cualidad de referencia?

4. Un perro que va siendo sucesivamente engañado por el lanzamiento fingido de una pelota. Simulamos lanzarla, pero en realidad la retenemos en la mano. La verdad es que yo no conozco ningún perro que pique con un truco tan ingenuo. No obstante, sí estoy familiarizado con cierto fox-terrier que no supo darse cuenta de que yo había lanzado su juguete al rellano de la escalera y no al fondo de la sala, donde él esperaba que cayera. Le conduje hasta el rellano y se lo mostré, confiando en que a la siguiente sí sabría dónde ir a buscar. No hubo suerte; sencillamente, corrió otra vez hasta el fondo de la sala. Incluso después de que yo lanzase el juguete 15 veces más a lo alto del rellano seguía todavía buscando en el fondo de la sala, para volver enseguida con aire de confusión. ¡Pobre can! Cierto, en alguna de esas penosas ocasiones sí empezó a subir por la escalera, pero al poco de iniciar el ascenso daba la vuelta y salía zumbando al fondo de la sala. Tratándose de mi perro, tal conducta me resultó decepcionantemente esféxica.

5. Esos jugadores de las tragaperras, que con ojos vidriosos permanecen pegados a las máquinas. Podemos añadir a éstos esos adolescentes, estudiantes de bachillerato, e incluso de universidad, que con mirada no menos vidriosa quedan como adheridos a video-juegos y petacos. ¿No hay en esto algo de mortalmente rutinario, trillado y repetitivo? Mucha gente hace tales cosas con placer, según parece.

6. Una persona que acostumbre a silbotear o cantar mientras realiza otras actividades, y a quien, si prestamos oído, podremos escuchar un día sí y al siguiente también la misma tonadilla, y así año tras año, sin jamás cambiar.

7. Personas que gastan siempre la que siempre parece ser la misma broma, una y otra vez, con sólo ligeros cambios de disfraz. O los equivoquistas empedernidos, incapaces de dejar de hacer un retruécano tras otro.

8. Los alumnos de primeros cursos de bachillerato, que año tras año encabezan sus textos con los mismos poemitas cursis y jaculatorias que ya escribían los alumnos de la promoción del lector.

9. Los matemáticos que en un artículo tras otro le sacan partido a una misma técnica, haciendo progresos en distintas ramas de la matemática, y empero, siempre con el mismo toque característico e idiosincrático, haciendo siempre, en cierto sentido más profundo, "un truco ya gastado".

10. Personas cuya conducta hace discurrir su vida por sendas escabrosas, por ejemplo, a causa de aventuras amorosas o desatención en el trabajo. Todos conocemos a gente que cada vez que debe enfrentarse a un asunto importante "pasa", y nos deja colgados.

11. Tendencias sociales que llegan a hacerse totalmente estilizadas y predecibles, como en los interminables seriales con que la televisión nos abruma, o las películas basadas una tras otra en un mismo recurso o argumento, explotado de formas ligeramente distintas. Podría decirse, por ejemplo, que las películas *Lejos de la manada, The Black Stallion* y *Carros de fuego* son, simplemente, resultado de insertar determinados valores en las variables de una única fórmula feliz: un campeonato próximo a realizarse, un segundón o un desvalido encantador, un rival y, obviamente, la victoria final del protagonista. Y estas obras son ricas y complejas en comparación con ciertos libros y filmes que se aprovechan mucho más descaradamente de precedentes famosos.

12. Estilos artísticos, fechados y rutinizados hasta el punto de no ser ya creativos. Aunque así llega a ocurrirle a todos los estilos, cuando tal momento llega siempre hay quienes se salen del camino ya trillado y crean estilos enteramente nuevos. Hay otras personas, no obstante, que alcanzan maestría en un estilo antiguo y continúan creando en una línea ya pasada de moda.

¿En qué magnitud difieren los últimos de los ejemplos anteriores con respecto al disco rayado o a la avispa *Sphex*? ¿Cuál sentimos nosotros ser la auténtica diferencia conforme avanzamos en la lectura de la lista?

Yo la resumiría diciendo que es una *sensibilidad* de carácter general para detectar *pautas*, una capacidad para localizar pautas de tipo inesperado en lugares inesperados, en momentos inesperados y en medios inesperados. Por ejemplo, *usted* acaba de detectar una pauta imprevista: cuatro repeticiones de una palabra. Ni en sus genes ni en su período escolar hubo preparación explícita para tal acto de percepción. De todo cuanto usted disponía es de capacidad para reconocer la igualdad. Todos los seres humanos disponen de esa viveza mental, de esa disposición, y esto los hace tan antiesféxicos. Apenas se ven inmersos en algún tipo de "bucle", lo detectan. Algo se excita en sus cerebros; tal vez se pusiera en marcha algún tipo de "detector de bucles". Podemos imaginarlo como "detector de sendas trilladas" o "detector de igualdad"; comoquiera que lo expresemos, es la capacidad para romper bucles iterativos de cualquier tipo lo que parece ser antítesis de lo mecánico. O por decirlo en sentido afirmativo, la esencia de lo mecánico parece residir en la carencia de novedad, en su repetitividad, en hallarse atrapado en algún tipo de región delimitada con precisión. Por eso la conducta de la avispa, del perro, e incluso de algunas personas, nos parece tan mecánica.

¿De cuántas computadoras tiene usted noticia que hayan reaccionado ultrajadas (o que hayan soltado una carcajada), al encontrarse consecutivamente sobre una lista de direcciones: "Anabel Ebana", "Anabel L. Ebana", "Sta. Anabel Ebana, A.T.S.", etcétera? Los ordenadores no disponen de sensibilidad automática hacia las pautas que puedan presentar los datos que manejan. Aunque, claro, ¿cómo se nos ocurre esperar siquiera que puedan tenerla? Como todo el mundo sabe, los ordenadores solamente pueden hacer lo que estén programados para hacer. A los ordenadores no les resulta intrínsecamente aburrido sumar largas columnas de números, ni aun cuando todos los números sean iguales. A las personas, sí. ¿Cuál es la diferencia?

Evidentemente, la máquina carece de algo, y ello le permite ser ilimitadamente tolerante con las acciones repetitivas. Tal carencia puede ser descrita brevemente: la falta de capacidad para observarse a sí misma conforme se desenvuelve en el mundo, de percibir pautas en la propia actividad y de ser capaz de hacer esto a muchos niveles de abstracción. Imaginemos un ordenador hipotéticamente capaz de observarse a sí mismo. De tener esta forma de sensi-

bilidad de que hablamos, tendría que sentir aburrimiento cada vez que se le obligara a sumar una larga columna de números idénticos. ¿No se aburriría usted? Tendría que aburrirse siempre que se le limitase a sumar una y otra vez, incluso aunque los números sean distintos. ¿No se aburriría usted? Tendría que aburrirse aun cuando se le exigiera hacer muchas operaciones aritméticas en cualquier tipo de pauta repetitiva. ¿No se aburriría usted? Cualquier bucle, de cualquier tipo, acabaría siéndole tedioso, ¿no es así?

Pero, ¿dónde se detendrá? Sin duda, si un ordenador pudiera percibir que todo cuanto hace es ir extrayendo instrucción tras instrucción de su memoria (que forma parte de la máquina, y no debe confundirse con la memoria humana), ejecutar las instrucciones y cambiar el estado de diversos registros, sin duda bostezaría de tedio y pronto se iría a dormir. Por igual motivo, si usted o yo llegásemos a tener acceso a la activación y desactivación de nuestras neuronas, descubriríamos que la observación de tal actividad neuronal es de lo más entontecedor que se pueda imaginar.

Sin embargo, no es ésta la clase de auto-observación a que me refiero. La observación de las propias pautas de actividad microscópica interna tiene que ser exasperante, porque cualquier sistema complejo tiene que estar necesariamente compuesto de miles, millones o incluso mayor número de elementos (engranajes, transistores, células...). Es, en cambio, crítica la observación de actividades a un nivel totalmente distinto: el nivel colectivo, en el cual inmensas pautas de actividad de estos numerosísimos componentes individuales adoptan tipos de comportamiento regular perceptibles por sí mismos. Un huracán es una inmensa pauta de la actividad de átomos minúsculos, que presenta tanta regularidad y se ajusta tanto a un patrón que podemos predecir el comportamiento de los huracanes sin preocuparnos para nada de los átomos individuales que lo constituyen. Un *pensamiento* es una inmensa pauta de actividad de células microscópicas, y de él casi puede decirse otro tanto.

La antiesfexicidad tiene que ver con la auto-percepción a niveles de este tipo. Más que observar sus neuronas, transistores o registros, un ser antiesféxico observa y supervisa sus pautas de alto nivel, buscando semejanzas y repeticiones, un poco a la manera en que un meteorólogo puede buscar en un huracán la misma línea general de desarrollo que en cualquier otro.

Por consiguiente, no deberíamos esperar, y ni siquiera desear, que un ordenador introspectivo, pendiente de sí mismo, fuera capaz de llevar su introspección hasta el nivel de circuitos; no debería observarse a sí mismo ejecutando en lenguaje de máquina las operaciones de "sumar", "almacenar" y "transferir el control", en pautas semejantes a bucles. Los efectos de tales operaciones son los de cambiar entidades de mayor rango en su memoria, llamadas estructuras de datos. La introspección conlleva ir supervisando cómo se producen esos cambios, eliminar por filtrado los irrelevantes e ir registrando ciertos aspectos de los interesantes en *otras* estructuras de datos. (El hecho de que tal acción de registro requiera, a nivel más microscópico, los mismos tipos de operaciones elementales en lenguaje de máquina le quedaría invisible al ordenador, pues la máquina ha de encontrarse protegida de una visión tan minuciosa de sí misma.) Así pues, las pautas y regularidades reconocibles en los cambios de *un* conjunto de estructuras de datos tendrían que registrarse en otro sistema de estructuras de datos. ¿No deberíamos entonces disponer de un tercer nivel de estructuras de datos, un nivel desde donde observar el segundo nivel, atento a las pautas que puedan producirse en éste? ¿Y por qué no un cuarto, encargado de la inspección del tercero? Parece éste ser territorio ideal para una regresión infinita, esto es, una jerarquía ilimitadamente ascendente de estructuras, cada una encargada de supervisar el nivel inferior inmediato.

Tal es el caso. Precisamente por ser usted un humano y mantener continua supervisión de sí mismo es por lo que ha detectado la pauta, antes, sin duda, de que yo la enunciase. La capacidad para detectar tales regresiones infinitas, deteniéndolas antes de que lleguen a nada, forma parte de la naturaleza de la percepción de pautas por los humanos. ¿Qué sucederá con el hipotético ordenador introspectivo, con sus infinitos niveles de supervisión interna?

Bueno, seguramente uno de los rasgos más sobresalientes –no, decididamente, la característica *más* sobresaliente– de cuanto acabo de describir es la pauta de las propias estructuras de datos, esa jerarquía que repetitivamente se eleva hacia el infinito. ¿No debería esta pauta serle a todo sistema introspectivo tan evidente como nos lo es a nosotros? En verdad que sí. Si hubiéramos de asignar el 0 al nivel más bajo, y el 1 al primer nivel de observación, entonces, lógicamente, deberíamos ir asignándoles a los niveles sucesivos los números 2, 3, etcétera. Cada nivel de este conjunto potencialmente infinito puede hacerse corresponder con un número natural. Una vez que la pauta ha sido percibida por un observador, ese observador puede formular el concepto general de "todos los niveles observados a la vez", asociado como está al concepto de "todos los números naturales simultáneamente considerados". El nombre convencional del conjunto de todos los números naturales es $\omega$ (omega), término que puede tomarse como nombre de un *nuevo* nivel de supervisión, que busca pautas en esta torre potencialmente infinita de observadores.

Incidentalmente, aunque haya yo propuesto la idea de ordenador introspectivo, no hay que temer que esté pensando en una máquina infinita. Ocurre precisamente lo contrario. La razón esencial para detener a medio camino la regresión infinita es que *no* necesitamos construir una torre infinita de estructuras de datos y procesos de supervisión, proeza a todas luces imposible, por no mencionar su monumental esfexicidad. En cada nivel sólo habrá podido hacerse un número finito de registros, y por tanto, existirá solamente un número finito de niveles –un pequeño número, de hecho– de estructura. El único requisito es que exista la posibilidad *potencial* de aumentarlo.

Sería el observador $\omega$ quien percibiría (al igual que usted y yo, y cualquier ser humano) la pauta infinitamente regresiva de tentativas de construcción de la propia torre $\omega$. El observador $\omega$ detectaría cualquier regresión infinita de este tipo antes de que pudiese comenzar. Si un cambio en el Nivel 0 provocase un cambio en el Nivel 1 que provocase un cambio en el Nivel 2, y si estos cambios parecieran ajustarse a pauta tal que inevitablemente la perturbación hubiera de propagarse hacia lo alto, entonces el observador $\omega$, siempre atento a la aparición de estas pautas en los otros observadores, entraría en acción, gritando, "¡Esperad! ¡Basta ya! ¡Alto!" No llegaría, así pues, a producirse ninguna regresión infinita; sería podada antes de florecer, como el capullo de la rosa, por un mecanismo semejante al que utiliza usted para despegarse de un latoso en una reunión: "Discúlpeme usted, voy a ver si me sirven una copa".

El problema es que no existe ningún dispositivo que impida al propio nivel $\omega$

entrar en algún bucle; por tanto, siendo preciso evitarlo, deberemos disponer de un observador situado todavía más alto: $\omega + 1$. ¡Ay, ay, ay! Incluso antes de que yo tuviera oportunidad de mencionarlo, ya se había olido usted una nueva regresión infinita. (¡Vaya, no hace más que aguarme la fiesta!) Bueno, pues de todos modos voy a decirlo. El Nivel $\omega + 1$ ha de ser observado por el Nivel $\omega + 2$, y este nivel, por el Nivel $\omega + 3$. Tenemos que ésta forma una segunda torre potencialmente infinita de observadores, todos los cuales habrán de encontrarse bajo la mirada escrutadora del Gran Supervisor, Nivel $2\omega$. Pero si puede haber *dos* torres, ¿por qué no *tres*? Y así, evidentemente proseguir. Las ruedas contienen ruedas más pequeñas, pautas de pautas de pautas. Tendremos así supervisores $2\omega$, $3\omega$, y ahora nuestra torre de torres precisa de un nuevo Magno Gran Supervisor: $\omega^2$. Y entonces-

Disculpe usted; voy a ver si me hago con otra copa. En cuanto entramos en regresiones infinitas compuestas por otras regresiones infinitas se plantea un problema, a saber, que la cosa se hace interminable y verdaderamente *pesada*. Bueno, no es exactamente que sea una lata, pero sí una cuestión compleja y desconcertante cuya realidad e importancia es cada vez más cuestionable. Y empero, cuando la devolvemos al dominio de la esfexicidad, resulta ser la muy real y relevante cuestión de cómo construir una máquina que pueda "sentir" pautas imprevistas en su propio comportamiento.

Cuestión que está ligada con un problema clásico de teoría de computabilidad: el problema de la detención. Este problema plantea la cuestión de si podrá existir un programa de ordenador que pueda inspeccionar otros programas antes de hacerlos funcionar, y decidir inequívocamente si aquéllos entrarán, o no, en un bucle infinito. (Caer en un bucle infinito significa nunca llegar a término y detenerse; recíprocamente, si el programa llega a término es que no ha entrado en nigún bucle infinito.) La respuesta es negativa, y ello por razones profundas y elegantes. Evidentemente, la clave reside en lograr que el inspector encargado de dar la orden de detención intente predecir su propio comportamiento mientras que está observándose a sí mismo intentando predecir su propio comportamiento mientras - Discúlpeme otra vez, voy a ver si aún queda algo de ponche.

La idea que inspira al problema de la detención es pariente cercana de la cuestión acerca de programas "introspectivos", auto-supervisores, pero no es en realidad la misma. Ante todo, el problema de la detención se ocupa de una inspección que es preciso realizar sobre los programas *antes* de pasarlos; es como tratar de averiguar si un edificio en proyecto resistirá los terremotos, estudiando los planos. Aquí estamos hablando de un programa que está observando algún programa *mientras* está en funcionamiento; más aún, no está observando "algún programa", sin más, no: está pendiente de *sí mismo*. Como es obvio, no toda su atención estará dedicada a ver si ha tomado o no senderos trillados ya (pues ello sería una conducta rutinaria), sino que mientras se dedica a sus cosas está "ojo avizor", por así decirlo, atento a signos de repetición en sí.

En teoría de computabilidad, cuando un programa o un sistema de cualquier clase se vuelve hacia sí mismo de esta forma, se dice que hace diagonalización. No faltan quienes opinan que la diagonalización es un ejercicio de extravagante artificiosidad, que una construcción de tal suerte nunca podrá presentarse en un contexto verosímil. A otros, este coqueteo con la paradoja les resulta excitante y provocador, sugiriéndoles remotas uniones con las entrañas más profundas del universo. Ahora tenemos que vérnoslas con una diagonalización *dinámica* –un programa instrospectivo– que parece hallarse íntimamente relacionada con aquello que hace a los humanos tan manifiestamente diferentes de un disco rayado o de una avispa del género *Sphex*. ¡Tal vez no estemos reflexionando sobre alguna artificiosa extravagancia!

Seguramente que la diferencia más importante entre el problema de la detención y la noción de programa instrospectivo sea que, al tratar de construir una inteligencia artificial, no estemos en realidad tan pendientes de la perfección matemática de nuestro sistema introspectivo como de sus posibilidades de supervivencia en el complejo mundo. Después de todo, tal es la función de la inteligencia. Por consiguiente, de haber un teorema matemático que nos dijese que absolutamente ningún programa podía ser observador *perfecto* de sí mismo, capaz de detectar en sí todo tipo de regresión infinita imaginable, pues bueno, estaría sencillamente enunciando que la inteligencia perfecta es inalcanzable, lo que más bien debería animarnos que disgustarnos, porque sería bastante decepcionante que alguien nos viniera con un programa finito pudiendo legítimamente proclamar: "Bien, muchachos, ya lo tenéis aquí. El no va más de la inteligencia, un programa *perfectamente* inteligente!"

Pero no hay que sufrir por eso. La obra metamatemática de Kurt Gödel, Alan Turing, Stephen Kleene y otros, acerca de cuestiones como el problema de la detención y la teoría de ordinales transfinitos (tales como las torres de números y de $\omega$) nos dice que semejante guión nunca será filmado, porque ni hay un inspector perfecto para el problema de la detención ni tampoco puede haber un esquema definitivo para nombrar a los ordinales. El significado de estas últimas proposiciones es que ningún mecanismo finito puede detectar todas las pautas, pautas de pautas, pautas de pautas de pautas de pautas (¡ajá! Esta vez le he pillado. ¡A que sí!), etcétera.

En un famoso artículo titulado "Minds, Machines, and Gödel" (que puede verse en *Minds and Machines*, recopilación de Alan Ross Anderson, Prentice-Hall, 1964) el filósofo inglés J. R. Lucas buscaba sacar partido de estos tipos de resultados "negativos" procedentes de la metamatemática, afirmando que tales resultados proporcionaban el argumento clave de una demostración de que las máquinas nunca podrán ser conscientes en el sentido de que lo son los humanos. Dejemos a Lucas hablar por sí mismo:

"En los primeros y más sencillos intentos de filosofar que uno hace, se encuentra uno embrollado en cuestiones de si cuando uno sabe algo, uno sabe que uno lo sabe, y que, cuando no está pensando sobre sí mismo, está siendo pensado, y qué o quien está efectuando el acto de pensar. Tras haber uno estado intrigado y lacerado durante largo tiempo por este problema, uno aprende a no insistir en estas cuestiones: implícitamente nos damos cuenta de que la noción de ser consciente es distinta de la de objeto inconsciente. Al decir que un ser es consciente estamos diciendo no sólo que este ser lo sabe, sino que sabe que lo sabe, y que sabe que sabe que lo sabe, y así sucesivamente, tantas veces cuantas nos cuidemos de plantear la cuestión. Hay aquí, reconocemos nosotros, una infinitud, pero no es una regresión infinita en el mal sentido, pues más que las respuestas, son las preguntas quienes van perdiendo fuerza, agotándose paulatinamente. Se tiene la impresión de que las preguntas carecen de objeto, porque el concepto contiene en sí la idea de ser capaz de seguir respondiendo indefinidamente a tales pregun-

tas. Aunque los seres conscientes tienen el poder de proseguir, nosotros no deseamos exhibir tal propiedad sencillamente como sucesión de tareas que puedan llevar a cabo, ni tampoco vemos la mente como un apilamiento infinito de egos, super-egos, super-superegos,... Insistimos, por el contrario, en que un ser consciente es una unidad, y aunque al hablar nos referimos a partes de la mente, lo hacemos tan sólo a modo de metáfora, que no estamos dispuestos a tomar, ni dejar tomar, literalmente.

"Las paradojas sobre la noción de consciencia surgen porque un ser consciente puede tener conciencia de sí mismo, así como de otras cosas, y a pesar de ello, no puede ser interpretado y explicado como descompuesto en partes. Lo que significa que un ser consciente puede tratar cuestiones gödelianas en formas que una máquina no puede, porque un ser consciente es capaz, a un mismo tiempo, de examinar lo que hace y examinarse a sí mismo, y ello no obstante, no ser otro que aquel que realiza lo que hace. Puede lograrse que una máquina, por así decirlo, examine lo que hace, pero no podrá tomar en cuenta los resultados del examen sin consiguientemente convertirse en una máquina diferente, a saber, la antigua máquina más una parte nueva, añadida. En cambio, es intrínseco a nuestra noción de mente consciente que pueda reflexionar sobre sí misma y criticar su propia actuación sin que para ello haga falta añdir nuevas partes: es completa ya, y carece de talón de Aquiles."

De alguna forma –y yo creo que comprensiblemente– Lucas se encontraba bajo la impresión de que los seres humanos están dotados de potencias mentales comparables a las de ser introspectivo a profundidad infinita, de alguien o algo capaz de detectar y poner término a toda y cualquier conducta amoldada a pautas: lo definitivo en antiesfexicidad. Yo llamo a esa hipotética capacidad "ruptura de bucles por doquiera", o más brevemente BOOLE (en honor de George Boole, autor de *The Laws of Thought* [Las leyes del pensamiento], uno de los libros más influyentes que nos ha legado el siglo XIX).

Lucas parece pensar que ser humano consiste en estar intrínsecamente dotado de esta capacidad BOOLE –esta antiesfexicidad total y perfecta. Mas al reflexionar, nos damos cuenta de que no puede ser éste el caso. A pesar de no ser ni avispas *Sphex* ni fox-terriers, somos todavía susceptibles de vernos atrapados en rutinas, como intenté hacer notar en la lista de doce ejemplos presentados. Ninguno de nosotros está inmune. Cada uno de nosotros –incluidos los Mozart que pueda haber– exhibe un "estilo cognitivo", que en esencia define las rutinas en que estamos permanentemente atrapados.

Lejos de ser ésta una tragedia irremediable, es precisamente lo que nos hace interesantes a los ojos de otros. Limitándonos, por ejemplo, al terreno musical, vemos que cada compositor expresa un "estilo cognitivo" en ese dominio –un estilo musical. ¿Tomaremos como signo de debilidad el que Mozart no tuviera la suficiente "potencia" como para abandonar la "senda mozartiana", y ser precursor de los arpegios de Chopin? ¿Y será porque a Chopin le faltaba brillantez que no se le ocurriera inventar las sutiles armonías de Ravel?

Todo lo contrario. Ensalzamos los estilos individuales, en lugar de ver negativamente en ellos la demostración de las íntimas limitaciones de la persona. Lo que resulta de veras curioso es que aquellas personas capaces de ponerse o quitarse estilos, a la manera del camaleón, parecen carecer de estilo propio, y son simplemente animadores de salón e imitadores divertidos. Nosotros le otorgamos grandeza a aquellas personas cuyas "limitaciones", si así es como queremos verlo, son más ostensibles. Si estamos familiarizados con el estilo de Ravel podremos en todo momento reconocer su música. Su fuerza es tanta *porque* es tan reconocible, porque su autor permanece atrapado en esa inimitable "senda raveliana". Si Mozart hubiera saltado hasta tan gran distancia de su sistema, seguiría atrapado en el seno del sistema raveliano.

El sentido de todo esto es que Mozart, y usted, y yo, somos todos altamente antiesféxicos, pero no de una manera perfecta; y es en esa difuminada frontera donde ya no podemos seguir manteniendo la introspección con tan alto grado de eficacia, donde nuestros estilos individuales, nuestros caracteres propios, comienzan a aflorar y manifestarse frente al mundo.

Si bien Lucas ha recibido aceradas críticas de filósofos, lógicos, y teóricos de computabilidad (que yo creo justificadas) donde se le echa en cara no haber sabido apreciar en toda su sutileza ciertos aspectos importantes del razonamiento de Gödel en que él funda su artículo, tampoco la mayoría de sus críticos han sabido apreciar un rasgo crucial de la mente, que Lucas ha sido uno de los primeros en señalar. Con mucha razón, Lucas hace observar que el grado de no-mecanicidad que se puede percibir en un ser consciente está directamente relacionado con la capacidad

de ese ser para autoobservarse en formas cada vez más exquisitas. Entre la gente que estudia la posibilidad de inteligencia artificial hay demasiada dispuesta a echar abajo el artículo de Lucas, con el argumento de que su tesis principal –la imposibilidad de mecanizar la mente– es errónea, sin querer enterarse de que Lucas está apuntando hacia cuestiones profundamente enraizadas en el núcleo mismo de la inteligencia y la creatividad. El lógico Emil Post escribió: "No parece que el germen creativo pueda ser presentado en toda su pureza, aunque pueda describírsele como consistente en la construcción de tipos cada vez más elevados. Son éstos a modo de ordinales transfinitos, y el proceso creativo consiste en ir transcendiéndolos continuamente, conforme van observándose leyes antes ocultas en la sucesión de tales números."

Ya subrayé antes la importancia de la organización de la memoria y la urgente necesidad de abordar la cuestión de qué es un concepto. Con relación al problema de cómo está organizada nuestra memoria, reviste importancia crítica cuál sea nuestro procedimiento para almacenar y recuperar elementos de información, nuestro conocimiento de cuándo sabemos y cuándo no sabemos, de cómo sabemos y por qué no sabemos. Aspectos que podríamos llamar "de metaconocimiento", y que están fluidamente integrados en el complejo entramado de nuestros conceptos. Nò forman a modo de "segunda mano", no son un recubrimiento decidido por un programador "de segunda generación", que hubiera llegado a la conclusión de que el metaconocimiento es buena cosa, a situar por encima y sobre el mero conocimiento. No, el conocimiento y el metaconocimiento se cuecen conjuntamente en un mismo estofado, totalmente fundidos uno en otro, dándose mutuamente sus ricos aromas. Por ello, la introspección es consecuencia automática de la estructuración de la memoria. ¿Cómo se lleva a cabo en el cerebro humano este maravilloso puchero de antiesfexicidad?

¿Y cómo podremos crear un programa que, análogamente a un cerebro humano, sea "de una sola pieza", un programa que no sea simplemente un apilamiento de "supervisores" cada vez de mayor rango, sino genuinamente sibiobservador; un programa donde todos los niveles se compriman y confundan en uno solo? Si deseamos un programa que rompa con los moldes esféxicos con que parecen ahormados todos los programas existentes hoy, tendremos que idear cómo podría un programa de percepción flexible sacar ventaja de su flexibilidad para observarse a sí mismo. Como es obvio, ningún programa así podrá ser escrito tal como acabo de expresar. Es decir, que no será posible darle forma de la siguiente manera:

1.ª etapa: Escribimos un programa de percepción flexible.

2.ª etapa: Hacemos que ese programa se vuelva hacia sí mismo y se observe.

Por el contrario, para lograr los resultados deseados en la primera etapa tendremos que haber incorporado al programa, ya desde el principio de su diseño, los objetivos de la segunda. Dicho de otra forma, los dos objetivos están entretejidos. Debemos mejor ir en el siguiente sentido:

Objetivo 1.º: Percepción flexible.

Objetivo 2.º: Observación de sí mismo.

No hay aquí prioridad cronológica, porque ambos objetivos están demasiado entremezclados para que pueda alguno preceder al otro. Es un repliegue sobre sí mismo bastante delicado, más elaborado y complejo que el implícito en el problema de detención, más emparentado espiritualmente con aquél.

Resulta interesante que el artículo de Lucas se basara en el teorema de Gödel, cuya demostración depende de uno de estos repliegues en apariencia imposibles (o al menos, fuertemente contrarios a la intuición). En tal demostración, un sistema de razonamiento matemático se repliega sobre sí mismo y se autoincluye como objeto de estudio. En la demostración resulta fascinante ver como en tal sistema hay una especie de desplome de niveles, consecuencia de la capacidad del sistema para verse a sí mismo. En lugar de torres de observadores sucesivos, y después torres construidas con esas torres, y así *ad infinitum* en regresión del tipo peor posible, todos aquellos grados y niveles se alcanzan de un solo golpe, puesto que el sistema puede actuar reflejándose a sí mismo. No es que se refleje en todos y cada uno de sus aspectos, atención. Ello conllevaría una contradicción. Lo hace, sin embargo, a todos los niveles de complejidad.

Los niveles, en apariencia distintos, de observador y observado están en la construcción de Gödel enteramente fundidos en uno, exactamente igual que Lucas los haría fundirse en un todo en la mente de los seres conscientes. La única cosa que Lucas no alcanzó a comprender es que la capacidad para replegarse sobre sí y verse a sí mismo en la maravillosa manera gödeliana no conlleva –de hecho, no puede conllevar– la

antiesfexidad total. Tal cosa, afortunada o desafortunadamente, según el punto de vista, es quimera.

Nada menos que en 1952, el filósofo y compositor John Myhill escribió un lírico artículo titulado "Some Philosophical Implications of Mathematical Logic: Three Classes of Ideas" (*The Review of Metaphysics*, vol. 6, n.º 2, págs. 165-198; diciembre de 1952). Las tres clases están tomadas de la lógica matemática, y los nombres con que Myhill las designa son los de "efectiva", "constructiva" y "prospectiva". Con terminología más técnica y propia de la lógica, son conocidas también por clases "recursiva", "renorec" ("recursivamente enumerable, no recursiva") y "productiva". Su esencia puede describirse como sigue:

Una categoría es "efectiva" con tal de que haya un procedimiento para decidir inequívocamente, dado un candidato a miembro de la categoría, si tal objeto es o no miembro de ella. ¿Es chino Ronald Reagan? ¿Es católico el Papa? Aunque estas dos preguntas parecen fáciles de contestar, y sugieren que ser chino o ser católico son ejemplos de categorías efectivas, en realidad son ligeramente engañosas. ¿Era chino Bruce Lee? ¿Es católico un obispo excomulgado? Ejemplos como éstos hacen ver que las categorías anteriores no son genuinamente categorías efectivas, pero claro, en el mundo real nada es tan nítido como en lógica. Yo podría haber preguntado, "¿Es 29 un número primo?", pero quise mostrar cómo estas nociones se extienden más allá del campo matemático. En los lenguajes naturales, la "gramaticalidad" (la propiedad de estar sintácticamente bien formado) está bastante desdibujada, pero en un lenguaje abstracto idealizado, o en un sistema formal, sería perfecto ejemplo de propiedad efectiva.

Pasemos a las "constructivas". Las propiedades constructivas son mucho más escurridizas que las efectivas. Aquí, la idea es que existe algún medio gracias al cual los elementos de la categoría van produciéndose uno por uno; así pues, si esperamos lo suficiente podremos llegar a ver cualquier elemento particular. Pero al mismo tiempo, se carece de medios para llevar a cabo la operación complementaria, a saber, la producción uno por uno de los *no*-miembros de la categoría. Desdichadamente, aunque este tipo de conjuntos tenga en matemáticas importancia extraordinaria, es bastante difícil dar con ejemplos fácilmente definibles. El conjunto de todos los teoremas de cualquier sistema axiomático formalizado es siempre recursivamente enumerable, pero con frecuencia su complemento lo es también, con lo que tal conjunto resulta ser efectivo en lugar de constructivo. Tendríamos que estar manejando un sistema formal cuyos *no*-teoremas sean no-productibles a partir de ningún sistema formal complementario. Solamente entonces se tendría un conjunto renorec, un conjunto constructivo. El conjunto de los teoremas de cualquier versión formalizada de la teoría de números posee, como demuestra Gödel, esta propiedad.

Llegamos por fin a lo "prospectivo", conocido también como "predictivo". Esta es la caracterización dada por Myhill: "Un carácter prospectivo es aquel que no podemos, sea reconocer, sea crear, a través de una serie de acciones razonadas, aunque en general impredictibles". Por tanto, tal carácter no es ni efectivo ni constructivo. Elude ser producido por *ningún* sistema finito de reglas. Ello no obstante, puede ser *aproximado* (y esto es importante) con grados de precisión cada vez mayores gracias a sistemas de reglas generativas cada vez mayores y mejores. Tales reglas nos dicen (o se lo dicen a una máquina) cómo ir produciendo miembros de esta categoría "prospectiva". En lógica matemática, el trabajo de Alfred Tarski y Gödel establece que la verdad tiene este carácter abierto, prospectivo. Ello significa que pueden producirse todo tipo de ejemplos de verdad –en número ilimitado– pero que ningún sistema de reglas podrá caracterizarlos a todos. El carácter prospectivo consigue evitar ser capturado por las redes finitas.

Dejando aparte la lógica matemática, el principal modelo de esta cualidad que Myhill nos sugiere es la belleza. Así es como lo expresa: "No sólo no podemos garantizar que sea reconocida (la belleza) cuando nos tropezamos con ella, sino, además, es que no puede existir fórmula o disposición –como creían los románticos– con la que podamos contar, ni siquiera en una vida hipotética, infinitamente dilatada, para crear toda la belleza que hay." Por consiguiente, la belleza admite sucesivas aproximaciones cada vez más perfectas, pero nunca es completamente alcanzable. Belleza e irracionalidad suelen ir de la mano. ¿Será coincidencia que el primer ejemplo de tal noción de algo indefinidamente aproximable, pero inalcanzable en un proceso finito, sea llamado número "irracional"?

Myhill es lo bastante osado como para especular así: "En estética, el teorema análogo al de Gödel enunciaría, por consiguiente: no existe escuela artística que permita la producción de toda la belleza y excluya de su producción toda fealdad". Toda moneda tiene dos caras; la fealdad es reverso de la belleza. Por irónico azar, el complementario de un conjunto productivo (o prospectivo) se llama, en la jerga de lógica matemática, conjunto "creativo". Es preciso admitir que para la producción de todos los objetos feos posibles es necesaria una creatividad (aunque perversa) de vigor y brillantez estupefacientes.

Si consideramos que es objetivo del arte la producción de todos los objetos de belleza (qué duda cabe, éste es un enunciado simplista, pero que adoptaremos aquí) entonces, cada artista aporta objetos de un estilo particular. Tal estilo es producto de la formación y la herencia del artista, y se convierte en su sello distintivo. En la medida en que posee un estilo personal, todo artista es esféxico: se encuentra atrapado en una región mental, de fronteras intangibles e invisibles. No es nada que deba lamentarse. Los artistas, en grupos, forman movimientos, escuelas, o períodos, y lo que limita a uno de los artistas puede no limitar a otro. Así pues, por el hecho de ser más amplio el espacio entre sus fronteras, una escuela es menos esféxica –más consciente– que cualquiera de sus miembros.

Pero los movimientos colectivos tienen sus límites, y muestran su finitud al cabo de cierto tiempo. Empiezan a perder fertilidad, a agotarse, a estancarse. Una nueva escuela comienza a formarse. Lo que ningún individuo puede descubrir con claridad puede, tal vez, ser visto colectivamente. Así, el arte va progresando hacia una visión siempre más amplia de la belleza –una visión "prospectiva"– debido a una serie de diagonalizaciones reiteradas, de procesos de reconocimiento de senderos trillados y de salirse de ellos, de saltar desde cada sistema a un mundo renovadamente más amplio. Es *posible* formalizar uno cualquiera de los saltos de este proceso interminable, pero su totalidad (así nos dice Gödel) *no puede* ser formalizada, ni en un ordenador, ni tampoco en nigún cerebro finito o conjunto finito de cerebros. Por ello, no debe uno temer que la mecanización de la creatividad, si llegara a producirse, señale el fin del arte. Todo lo contrario: a tal día debemos dirigir nuestras miradas, porque en ese día nuestros ojos se abrirán a nuevos universos de belleza. Será un día glorioso aquel en que, enlazadas las manos con nuestros amigos computariados, dando un salto cualitativo escapemos del sistema para ver de encontrar otra copa.

# Taller y laboratorio

*Cuando se somete a vibración una mezcla de polvos diferentes, éstos parecen cobrar vida*

Jearl Walker

Se hallaba Geoffrey Bate, de la Verbatim Corporation, Sunnyvale, California, mezclando polvo castaño (Nestea) con otro anaranjado (Tang), con el propósito de preparar una bebida llamada té ruso, cuando advirtió un hecho extraño. Pese a agitar vigorosamente los ingredientes, éstos no se mezclaban de una manera uniforme; islotes anaranjados duraban y perduraban en un mar castaño. ¿Por qué? A mí se me ocurren dos razones: primera, al agitar los polvos, éstos adquieren carga eléctrica y luego se repelen electrostáticamente; segunda, uno de los polvos puede ser un poco más fino que el otro y que, por ello, los granos de ambos propendan a aposentarse de un modo desigual.

Bate planteó el tema a A. D. Moore, de la Universidad de Michigan, experto en electrostática, entre otras cosas. Le contestó que la carga eléctrica creada por las sacudidas había de ser demasiado débil e incapaz de mantener separados conglomerados de polvo de ese tamaño. Más todavía. Resultaba dudoso que la repulsión electrostática formara agolpamientos de polvos tan nítidamente definidos. Moore concluyó que la separación debía proceder de alguna diferencia entre las características mecánicas de los granos.

También yo eché mi cuarto a espadas. Me serví de un vaso transparente de laboratorio que me permitiera observar lo que ocurría en el fondo y en la superficie a la vez. Con medio centímetro aproximadamente de Nestea dentro del vaso, comencé a añadir cucharaditas de Tang, que se superponía al Nestea hasta que agitaba suavemente el recipiente. A cada sacudida, se hundía en el Nestea cierta cantidad de Tang. Cuando había muy poco Tang, desaparecía enseguida pero, cuando volvía a verter cierta cantidad, a cada sacudida se hundía parte del recién añadido, al tiempo que afloraban islotes del que había añadido antes.

Por el fondo del vaso podía observar el crecimiento de la zona anaranjada conforme añadía más Tang y agitaba. El polvo se escurría hacia el fondo del vaso. Si lo agitaba con fuerza, o lo inclinaba levemente, asomaban a la superficie bolsas del Tang antes hundido. Los granos de Tang son notoriamente más pequeños que los de Nestea; por ello, me pareció claro que, con las sacudidas, los granos de Tang se escurrían cada uno lentamente hacia abajo por entre los de Nestea.

Como prueba adicional lo introduje todo en un mortero y molí la mezcla con una maja para uniformizar más el tamaño de los granos. Al verter luego los polvos en el vaso y agitar, se esfumaron los islotes de color. Los polvos se mezclaban uniformemente porque el tamaño de los granos ya era más parejo.

Para asegurarme de que los islotes que se formaban en la mezcla primitiva no tenían nada que ver con mi modo de agitar, hice un montaje consistente en un oscilador de audiofrecuencia que excitaba un altavoz, cuya misión era agitar los polvos regularmente. La señal del oscilador alimentaba el altavoz a través de un amplificador. Coloqué el altavoz hacia arriba encima de una mesa; a su boca aseguré con cinta adhesiva la mitad de un envase metálico de los que sirven para guardar rollos de película cinematográfica. Dentro de este recipiente vertí una pequeña pila de Nestea y, sobre ésta, una capa de Tang. Luego puse en marcha el oscilador, a una frecuencia senoidal de 64 hertz, e incrementé progresivamente la señal de salida del amplificador hasta que el polvo comenzó a moverse. Casi al instante, el Tang se hundió en el Nestea.

Los granos que se separaban del montón principal vibraban con energía y avanzaban hacia el cerco del recipiente, donde la vibración creada por el altavoz era mínima. La explicación de ese movimiento no encerraba mayor dificultad. Las vibraciones verticales del recipiente proyectaban los granos hacia arriba, ligeramente desviados hacia un lado. Al final, el centro del plato, donde la oscilación tenía la máxima intensidad, acababa desprendiéndose de todos los granos, que se reunían, como era de esperar, en la zona de oscilación mínima. Cuando todo el plato vibraba débilmente, apenas se movía el montón de polvo. Con una vibración algo más intensa, comenzaba a desplazarse en bloque hacia el cerco. A la vibración máxima, el montón se desintegraba en granos separados que se trasladaban hacia el cerco.

La tendencia del montón a desplazarse sin disgregarse para las intensidades de vibración medias me tuvo sorprendido hasta que comprendí que el peso del montón reducía la vibración en esa zona. Entonces, en lugar de separarse en granos aislados, el montón se levantaba en bloque por el aire y, al ser la vibración más fuerte en la parte central del recipiente, se trasladaba gradualmente hacia el cerco.

Este montaje para poner en vibración los polvos está inspirado en un experimento que Ernst F. F. Chladni, físico sajón, especialista en acústica, hizo clásico. Mostró en 1787 que, cuando vibra una placa plana, los granos de arena que se hayan rociado sobre la misma se reúnen paulatinamente en los nodos, o lugares donde la vibración es nula o muy reducida. Así, las distribuciones que adquieren los polvos, las hoy llamadas figuras de Chladni, revelan las características vibratorias de la placa, pues señalan la posición de los nodos. La ausencia de arena (o polvo) indica la de los vientres, donde la intensidad de vibración es máxima.

Cuando Chladni sustituyó la arena por un material más fino, como polvo de licopodio, descubrió que la vibración lo acumulaba en los vientres. Cuando en la placa ponía arena y polvo de licopodio a la vez, y la hacía vibrar, la arena y el polvo iban cada uno por su lado. ¿Por qué se corren hacia los nodos los granos grandes y hacia los vientres los más pequeños? La explicación tradicional es que el polvo fino, una vez en el aire, es atrapado por una leve co-

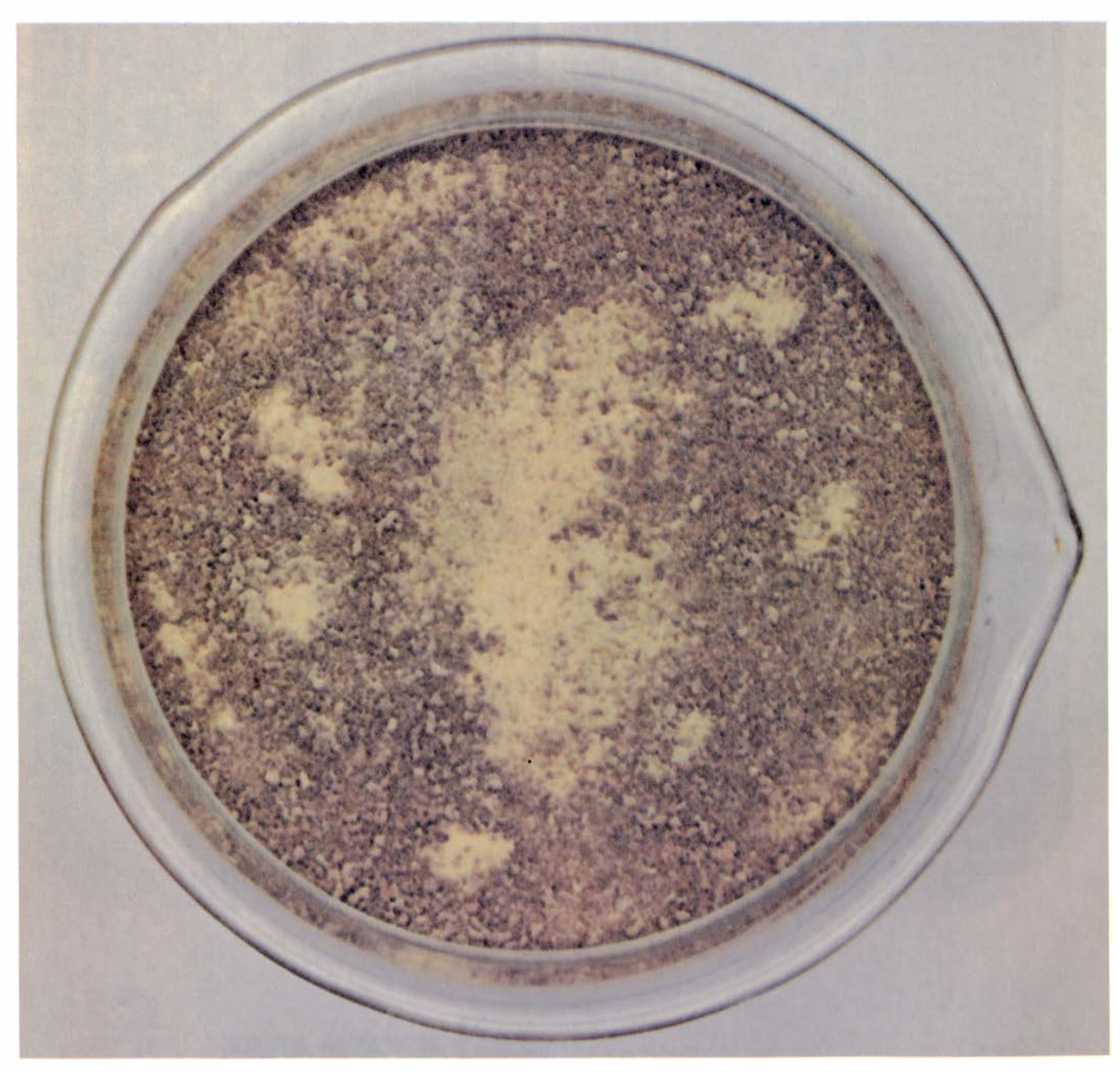
rriente de aire que circula por encima de la placa en vibración y transportado gradualmente por ella hacia los vientres. Volveremos sobre este extremo.

Cuando procedí a observar, en mi dispositivo de placa vibrante, el comportamiento del Nestea y el Tang en comparación con la arena me encontré con varias cosas raras. La primera apareció cuando vertí una pila de Tang sobre el plato al objeto de examinar de qué modo la afectaban las variaciones de la amplitud de vibración. Sucedió que, cuando me hallaba aumentando la amplitud, el montón comenzó súbitamente a recogerse y estrecharse por la base y a alargarse por la cúspide. Los granos se desprendían de ésta y rodaban por las laderas, pareciéndome que volvían a introducirse en el montón por el fondo de éste.

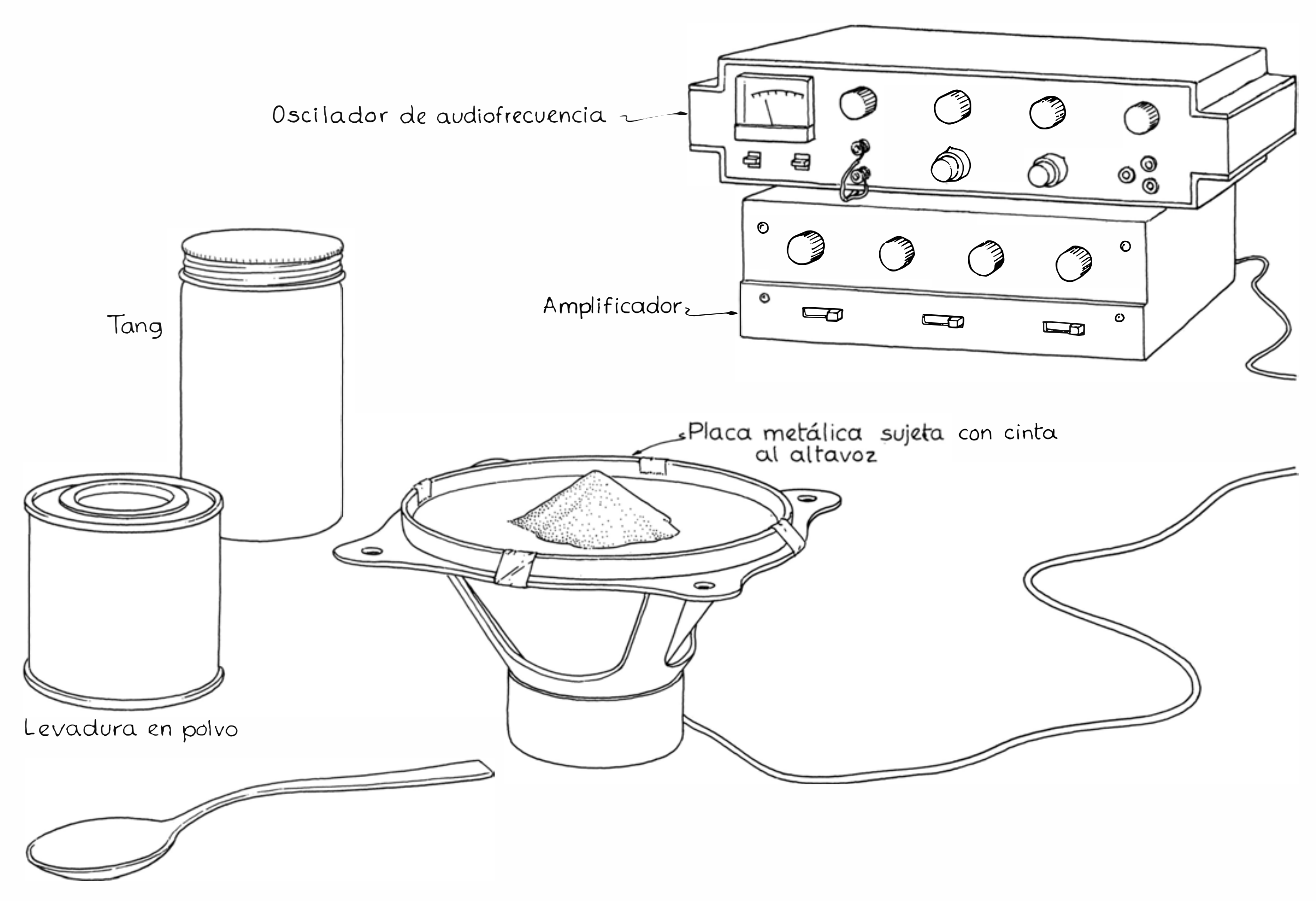
Me quedé pasmado. Un montón inerte de naranja en polvo había cobrado animación. El Tang circulaba, moviéndose, a lo que parecía, por el fondo del montón hacia el centro de éste, elevándose luego hasta la cúspide y rodando finalmente por las laderas para iniciar otra vez el recorrido.

Para seguir la circulación interna añadí una pizca de Tang violeta a modo de trazador. Lo apilé en el centro del plato y lo cubrí con una buena cantidad de polvo anaranjado. Subí entonces la amplitud de las vibraciones hasta más allá del punto en que cabría esperar la iniciación de la circulación interna. Enseguida comenzaron a brotar granos violeta por la cúspide del montón, cerca del centro; rodaban luego por las laderas para terminar desapareciendo lentamente en la base.

Probando con el polvo de licopodio en mi dispositivo (puede servir levadura en polvo), volví a descubrir un umbral por encima del cual el montón se contraía por la base y se alargaba por la cúspide. En este caso, la circulación interna parecía más vivaz que con Tang. La sometí a prueba enterrando unos cuantos granos de Tang violeta cerca de la cúspide del montón. Nuevamente se abrieron camino hasta el remate de la pila y rodaron pendiente abajo.



*Islas de Tang en un mar de Nestea*




*Montaje para hacer vibrar regularmente polvos de dos tipos diferentes*

Si hacía vibrar moderadamente el montón de polvo de licopodio, en la cúspide se formaban complicadas ondulaciones que descendían por la falda, a velocidad aparentemente menor que los granos que rodaban por ella. A veces pude vislumbrar lo que ocurría al descender pendiente abajo una de las crestas. El polvo hacía crecer en su caída la cresta, hasta que ésta se volvía demasiado pesada para el polvo situado debajo y, entonces, éste se deslizaba en masa una corta distancia, como un alud; allí se restablecía la cresta. Esta secuencia proseguía hasta que la cresta alcanzaba la base del montón.

Más de una vez llegué a crear configuraciones estacionarias. De la cima a la base parecían formarse alineaciones de polvo que se deslizaba sin parar. Entre ellas se veían zonas hundidas en las que se apreciaba poco movimiento de polvo. A veces una ondulación solitaria ascendía por la ladera. Este extraordinario movimiento dependía de que se ajustase cuidadosamente la amplitud de la vibración; cualquier leve incremento de ésta por encima de la necesaria hacía que ondas de pequeños aludes se deslizaran pendiente abajo.

Con el canto de una cuchara toqué la cima de un montón de polvo de licopodio animado de movimiento circulante. La vibración que pude percibir fue escasa; ello sugería que la porción de polvo que remataba el montón era poco compacta. Con Tang noté mucha más vibración; el montón, más sólido al tacto ahora, seguía siendo poco compacto en su parte superior.

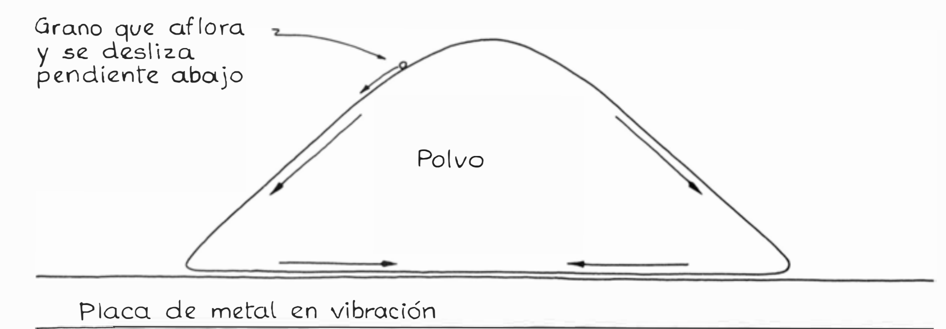
Al trabajar de nuevo con Tang encima de Nestea, descubrí que la vibración hacía que el primero se hundiera en el segundo, pero observé asimismo que la circulación interna era causa de que por la cima emergieran granos de Nestea. Por lo habitual, éstos se agitaban erráticamente y, luego, caían ladera abajo una corta distancia, para repetir allí el proceso. Por otra parte, los granos gruesos que llegaban a la base se separaban del montón y sólo volvían a entrar en él los más finos. Como los granos de Nestea eran visiblemente más gruesos que los de Tang, en la base del montón se desarrollaba una pequeña segregación de los polvos.

Probé a soplar levemente sobre el polvo, creyendo que se esparcería uniformemente hacia el cerco del recipiente. En vez de ello, lo que ví era una zona pelada en el centro y después bandas de colores: un anillo anaranjado y luego uno castaño, más separado, que parecía un poco más alto. Evidentemente, las partículas de Nestea recibían más impulso que las de Tang y mi aliento las alejaba más del centro.

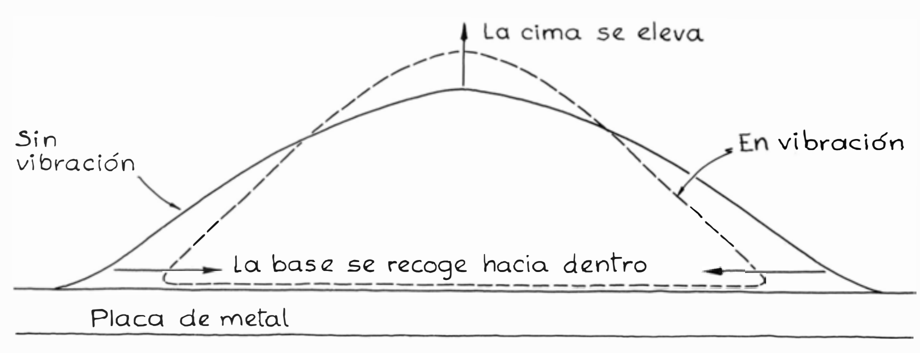
Con polvo desparramado uniformemente en el recipiente, aumenté la intensidad de la vibración, lo suficiente para que los granos se pusieran a bailar. Ante mi sorpresa, al llegar a una vibración umbral, se formaron cúmulos de polvo fino, los cuales comenzaron a deambular como amebas por la superficie del plato, fusionándose casi siempre que se encontraban y, a veces, escindiéndose. Para una vibración un poquito menos intensa, se quedaban quietos y sólo seguían botando los granos gruesos.

Probé lo mismo con polvos de licopodio, para encontrar que aparecía un gran número de cúmulos. Es evidente que tal es la reacción de los polvos finos a una vibración intensa. Estos cúmulos resultaban blandos al toque de una cuchara, revelando que no eran compactos.

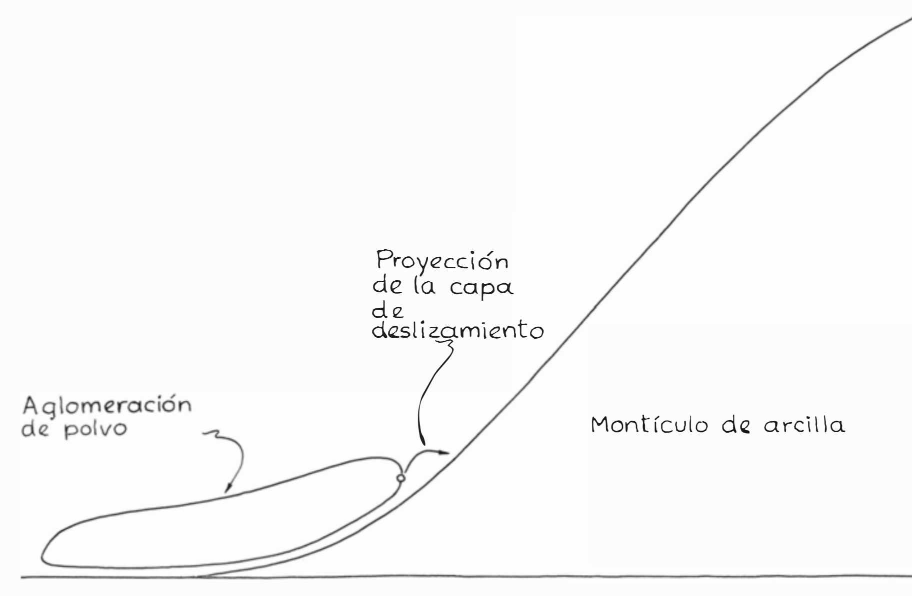
Aún me aguardaba otra sorpresa. Proponiéndome observar si un obstáculo en el fondo del recipiente podría



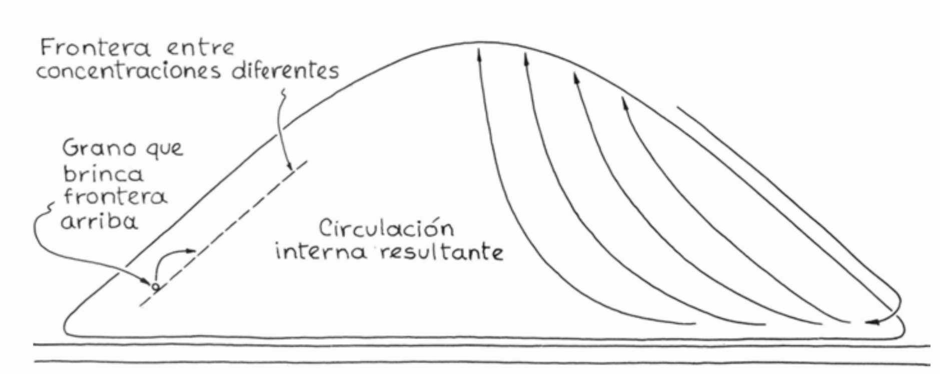

*Circulación de los polvos dentro del montón*




*Cambio del contorno de un montículo de polvo a causa de las vibraciones*




*Perfil del ascenso del polvo por una pendiente durante las vibraciones*




*Mecanismo de la circulación interna*

alterar el flujo de polvo, construí un montículo con arcilla de modelar. Para ello, hube de limpiar esmeradamente el metal y asegurarme así que la arcilla permanecería adherida a él cuando se iniciaran las vibraciones. El montículo tenía alrededor de un centímetro y medio de altura y era más o menos simétrico; lo puse en el centro del plato.

En torno al montículo distribuí polvo de licopodio e hice subir la vibración hasta la amplitud que iniciaba la agitación del polvo. Como antes, las capas de éste se estrechaban por la base y se estiraban en altura. Comenzaron también a trepar por el montículo. Aumentando la intensidad de la vibración conseguí que el polvo trepase hasta la cima. No podía dar crédito a mis ojos.

No tardó en llegar a la cúspide una cantidad de polvo tal que hubo de caer por un lado para reunirse en la base. Pero entonces se puso a circular alrededor de ésta para acabar iniciando otra ascensión hacia la cúspide. A veces, un reguero notoriamente ancho trepaba por un lado y descendía por otro formando una corriente continua. El polvo escalaba siempre pendientes de 45 grados y, en ocasiones, subía incluso declives más escarpados.

¿Tiene su origen este fenómeno en las corrientes de aire que levantan, al vibrar, el plato y la arcilla? No, al parecer. Para cerrar el paso a cualquier corriente de aire coloqué el filo de un cuchillo encima de uno de aquellos regueros animados. Ello no surtía efecto alguno, salvo que el cuchillo llegase a tocar físicamente las partículas que componían el reguero.

El polvo trepa sin dificultad para frecuencias de oscilación inferiores a 100 hertz; la mejor es la de 60 hertz, más o menos. Conforme aumentaba la amplitud de vibración podía ver elevarse el montón de polvo situado en la base del montículo. Entre el polvo y la arcilla parecía apreciarse una línea oscura. Mera ilusión causada por el hecho de que tanto el polvo como la arcilla oscilaban entrando y saliendo de aquella zona. En el extremo superior de un reguero ascendente, el polvo se proyectaba hacia arriba sobre la pendiente hasta que se acumulaba en cantidad suficiente para iniciar un alud descendente.

Si el polvo escalaba el montículo era quizá porque las vibraciones tendiesen a llevarlo hacia el centro del plato. Para verificar tal posibilidad, remodelé la arcilla en forma de dos montículos contiguos al centro. Entonces, el polvo que ponía en el valle que los separaba se apartaba de allí y subía por cada montículo.



*Polvo de licopodio trepando por un montículo de arcilla de modelar sometida a vibración*

Luego formé un anillo de arcilla rodeando un valle en el centro del recipiente, en el que puse una mezcla de Nestea, Tang y polvo de licopodio. Cuando aumenté las vibraciones hasta que el licopodio empezó a moverse, éste remontó la pequeña cordillera, pero los otros permanecieron en el valle. Mi suposición había sido que, si el licopodio podía escalar montículos, los otros polvos podrían también, con una amplitud de vibración suficiente.

Mi opinión es que la diferencia esencial entre las propiedades escalatorias de los polvos reside en que los de licopodio son particularmente cohesivos. El mecanismo de la escalada parece consistir en que, a cada semioscilación ascendente de la arcilla, ésta lanza unos cuantos granos hasta un punto situado un poco más cuesta arriba. Para mayor exactitud, la superficie de la arcilla se mueve hacia arriba, empuja la capa de polvo en contacto con ella y la ensancha, haciendo que la concentración de polvo sea menos densa. En tal situación, la capa de polvo más próxima a la superficie puede deslizarse hacia arriba y a lo largo del fondo de la capa a la cual normalmente se adheriría. Cuando la arcilla desciende, durante la segunda fase de cada vibración, el resto del conjunto de los polvos vuelve a caer sobre ella. Este efecto se repite a cada ciclo, lanzando cada vibración ascendente una nueva capa desprendida pendiente arriba. Finalmente, parte del material lanzado hacia arriba retrocede deslizándose por encima del reguero, llega al extremo inferior de éste y es arrastrado bajo el mismo. Incluso en un reguero que se haya formado en una

pendiente excesivamente escarpada para que pueda remontarla del todo, los granos circulan siempre pendiente arriba por el fondo del reguero y retroceden por la parte de encima.

La subida por una pendiente depende críticamente de la adhesión a la superficie por parte de los granos proyectados hacia arriba. Otro factor importante es la cohesión. Cuando se lanzan más granos a un tramo de la pendiente en la que ya hay granos procedentes de un lanzamiento anterior, parte del polvo nuevo permanece en su lugar gracias a su adherencia con la arcilla y a su coherencia con los otros granos. El Tang y el Nestea no remontan pendientes porque no poseen adhesión ni cohesión suficientes. Pero si se reduce cualquiera de ellos a un polvo más fino, entonces sí escalan pendientes.

Hice que un grano de tamaño grande trepase por un montículo de polvo de licopodio. Ajustando la intensidad de la vibración a un nivel bajo, un grano de Tang violeta subía por la pendiente en una sucesión de brincos. Tras cada brinco, el grano caía de nuevo sobre el licopodio, en el que practicaba un pequeño cráter, en cuyo interior quedaba retenido hasta el brinco siguiente.

Esta última serie de observaciones me proporcionaron la clave para entender por qué los granos de un montón sometido a oscilaciones se mueven hacia el centro y no en otra dirección. Cuando el plato vibra, lanza hacia arriba toda la pila de granos, de tal modo que la concentración de éstos decrece, haciéndose menor en la superficie y mayor en el fondo.

En la ilustración inferior de la página 164 se utiliza una línea quebrada para señalar la posición de los granos cuya concentración tiene un valor determinado. Por encima de esa frontera, la concentración será menor; por debajo, mayor. Consideremos un grano inmediatamente encima de ella. Con un movimiento ascendente del plato, ese grano se verá proyectado ligeramente pendiente arriba de la frontera. En la siguiente parte del ciclo, el grano y el montón regresan hacia abajo. Cabría esperar que el grano deslizase frontera abajo por lo menos la misma distancia que ascendió, pero no es así, ya que el rozamiento con los demás granos frena su resbalamiento. Resulta, por tanto, que el grano ejecuta un movimiento neto de ascensión a cada sacudida.

Cada grano del montón puede contemplarse como si perteneciera a una de esas líneas de demarcación. Así, a cada semioscilación ascendente, cada grano sube por la suya, porque la concentración es mayor encima de ella que bajo ella. Por tanto, el movimiento neto del material que forma la pila tiene lugar hacia el centro y hacia arriba de la figura en cuestión.

Tras haber elaborado esta explicación descubrí que Michael Faraday, más conocido por sus trabajos en torno al electromagnetismo, había publicado ya en 1831 un conjunto de observaciones similares, aunque con una explicación diferente. Advirtió que, si rociaba una placa vibrante con polvo de licopodio, se amontonaba en pequeños grupos que mostraban circulación interna. Para dar cuenta del fenómeno se fijó en la corriente de aire que levantaba el movimiento de la placa.

En su opinión, cada semioscilación ascendente alzaba la pila, con lo que el aire fluía por debajo de su base, arrastrando polvo nuevo desde el perímetro. Por tanto, crecía la cantidad de material amontonado. Pero si el aire fluía por debajo de la pila cuando ésta volaba, no cabía duda de que debería fluir hacia fuera cuando la misma descendiera. El razonamiento, sin embargo, no explica el movimiento que yo observé valiéndome de trazadores (hacia arriba, para salir por la cúspide y deslizar por la ladera).

¿Por qué la frecuencia de vibración óptima para inducir circulación interna se sitúa en torno a los 60 hertz? La respuesta se halla en un trabajo de R. A. Bagnold, ingeniero petrolero británico, acerca del movimiento de las sustancias granulares. Si la frecuencia de vibración de la placa es excesiva, el montón de granos nunca descenderá del todo de su vuelo antes de la vibración siguiente; antes bien, permanecerá más o menos estacionario en el aire, mientras que la placa golpeará repetidamente su fondo. Por otra parte, la frecuencia debe ser suficientemente alta para poner en movimiento los granos.

En junio les describí ciertos fenómenos endoópticos, refiriéndome a formas visibles aun cuando se originen dentro del ojo. Les dije entonces que las "moscas volantes" se debían totalmente a glóbulos sanguíneos procedentes de la retina. Algunos profesionales relacionados con la visión me han escrito para aclarar que, si bien las moscas volantes se deben a veces a glóbulos sanguíneos, lo más frecuente es que se trate de minúsculas porciones de humor vítreo desprendidas que deambulen en la capa acuosa situada delante de la fóvea.

# Libros

## *Ciencia de la fábula, astronomía española y florilegio holandés*

José Alsina, Juan Vernet y Luis Alonso

HISTORIA DE LA FÁBULA GRECO-LATINA (I), por Francisco Rodríguez Adrados. Editorial de la Universidad Complutense; Madrid, 1979; 379 páginas. "Pocos géneros literarios, si es que existe alguno, presentan una mayor continuidad a lo largo de la historia que la fábula, desde Sumeria hasta nuestros días". Así inicia el autor este importante libro que, una vez terminado con la aparición del segundo tomo, cubrirá la historia completa del género en el mundo clásico, que, por vez primera, se habrá intentado escribir tras una serie de descubrimientos sensacionales que han modificado profundamente la idea tradicional que de este género teníamos. Descubrimientos a los que no es ajeno, ni mucho menos, el profesor Adrados, quien, a lo largo de más de treinta años, ha mantenido una fiel infidelidad al estudio de un género que, con razón, podría ser llamado la cenicienta entre los géneros literarios universales.

A finales de los años cuarenta Adrados publica un libro, en esencia su tesis del doctorado (*Estudios sobre el léxico de las fábulas esópicas. En torno a los problemas de la koiné literaria*; Salamanca, 1948), donde, por vez primera, se aborda el estudio de las diversas colecciones de las fábulas anónimas (*Augustana, Vindobonensis* y *Accursiana*), señalando las relaciones existentes entre las tres, e intentando establecer una cronología más exacta que la que hasta ahora se les había señalado. Lo importante de este trabajo, empero, es su enfoque lexicográfico, gracias al cual se obtienen interesantes resultados sobre la paulatina evolución de la tradición fabulística griega anónima. Cuatro años más tarde aparece un artículo del mismo autor ("El Papiro Rylands 493 y la tradición fabulística antigua", *Emerita*, 20 [1952] 337 y ss.), que, pese a que "contiene algunas lagunas respecto a la comparación con otras versiones de algunas fábulas", representa un avance extraordinario al postular, y demostrar, que la recensión de la que procede el texto contenido en el papiro no deriva directamente de la colección de Demetrio de Fáleron (como sostuvo en el mismo año Perry en su *Aesopica*) y al señalar que la versión del papiro presenta un léxico propio de la prosa literaria de la primera *koiné*.

Finalmente, en los años 1969 y 1970, Adrados publica dos artículos en *Emerita* en los que aborda una cuestión importantísima para la historia de la transmisión de las colecciones anónimas de fábulas: en la *Augustana* hay restos de una versificación que puede fácilmente reconstruirse con ligeras modificaciones del texto tradicional. El hecho había sido obscuramente intuido por Crusius a partir de su edición de Babrio, en tanto que otros investigadores y editores de fábulas ven el problema con bastante confusión: Chambry se limita a señalar la presencia del verso, pero va absolutamente desencaminada al atribuir el fenómeno unas veces a la época bizantina y, otras, a la influencia de las escuelas retóricas.

No acaba aquí la labor investigadora de Adrados en este campo. Sucesivamente, van apareciendo interesantes estudios que complementan, o amplían, sus posiciones teóricas hasta entonces alcanzadas; así, señalaremos su estudio "Desiderata de la investigación de la fábula antigua" (en las *Actas del V Congreso español de Estudios Clásicos*), donde expone lo conseguido y la tarea que todavía aguarda al investigador; y, sobre todo, su amplio trabajo "Prolegómenos al estudio de la fábula en época helenística" (*Emerita* XLVI, 1978, 1 s.) donde por vez primera aborda en profundidad toda la cuestión relativa al origen de la colección de Demetrio de Fáleron y su influjo en las colecciones posteriores. Finalmente, en un breve artículo aparecido en *Investigación y Ciencia* (n.° 53, febrero de 1981), Adrados esboza, tras sus pacientes investigaciones, un cuadro muy completo de la historia y la evolución de la fábula, desde Sumeria hasta la época moderna.

El libro que nos ocupa, pues, es el resultado de considerables esfuerzos y de profunda meditación sobre un género menor, que, paradójicamente, ha sido uno de los más populares a lo largo de la historia literaria de la humanidad. Lógicamente, el libro tenía que ser, y así es, una síntesis, todo lo amplia que se quiera, de sus trabajos anteriores, si bien es cierto que el autor ha redondeado el cuadro con la adición de una serie de capítulos que dan sentido y enmarcan sus logros anteriores. Veámoslo con cierto detalle.

El libro está concebido en dos tomos –posiblemente por razones económicas y de espacio–; una vez terminado, abarcará más de setecientas páginas, lo que lo convertirá, sin duda, en uno de los estudios, al tiempo que más completo, más largo dedicado al tema, pudiendo competir con muchas ventajas –y no sólo en cuanto a amplitud– con la obra de Nøjgaard, *La fable antique*, 1964-67.

En un intento por resumir, en la medida de lo posible, el contenido de este rico volumen, y tras señalar que algunos capítulos, como ya hemos dicho, son una nueva versión, abreviada, de algunos de sus trabajos anteriores (por ejemplo, cuando estudia las tres colecciones y la versión representada por el *Papiro Rylands*), pasamos a exponer algunos puntos nuevos, no abordados antes por el autor.

La primera parte (*Visión general de la fábula greco-latina*, pp. 15/150) estudia dos puntos previos: de un lado, la cuestión de la terminología de la fábula antigua. Adrados llega aquí a la conclusión de que "sería un error pretender una definición cerrada, simple y para siempre de la fábula" (p. 57). Muy al contrario, en un género de este tipo, en el que han ido a confluir toda serie de elementos primitivos de carácter más o menos parenético, moral y paradigmático, pero también antiguos mitos y "dichos", era lógico esperar que no sólo en cuanto a terminología (Adrados señala los distintos términos que sirven en la antigüedad para designar la fábula: *aînos, lógos, mythos*) sino que en lo que se refiere a la definición del género haya una gran variedad (en pp. 32 y ss. estudia el autor la definición de la fábula antigua). Es interesante su análisis de los elementos estructurales de la fá-

bula o los varios que la han constituido o competido con ella (chistes, anécdotas, enigmas, etcétera). Sigue un amplio capítulo (pp. 61-150) que aborda un "inventario general de la fábula greco-latina", y donde, utilizando, en parte, sus estudios anteriores, o aportando nuevas investigaciones, Adrados establece las diversas etapas por las que ha pasado la historia de la fábula antes de la época helenística (que estudiará en el tomo II). Hay aquí, sintetizada, toda la doctrina general sobre la formación de las colecciones anónimas (pero también de las de Babrio y Fedro y las tradiciones que de ellos proceden), y al nombre de los grandes editores Hausrath y Chambry, van unidos los de los más eximios investigadores de este género (Perry, Nøjgaard, Crusius, etc.). Adrados realiza un minucioso estudio de las tres grandes colecciones, estableciendo las relaciones existentes entre ellas, e insistiendo en que en la tradición de la fábula antigua se ha pasado, sucesivamente –a partir de la colección de Demetrio de Fáleron–, de versiones en prosa a versiones en verso, para volver a la prosa, en un complicado proceso.

La segunda parte (*La fábula griega hasta Demetrio de Fáleron*, pp. 153-379) es un esfuerzo notable por sintetizar y encuadrar todo lo relativo a la fábula prehelenística. De los cuatro capítulos que comprende esta segunda parte, destacaremos el que hace referencia a las relaciones entre la fábula y los géneros yámbicos, que me parece uno de los más notables del libro, por sus implicaciones con la literatura griega. Adrados pasa revista, en efecto, a todo el material literario relacionado con la fábula, lo que le permite escribir un capítulo nuevo en la historia de los géneros literarios. Interesante es, asimismo, el capítulo IV, que se ocupa de los elementos orientales contenidos en la fábula griega.

Hallamos aquí sensatas –y bien apoyadas– ideas sobre las relaciones entre Oriente y Grecia en lo que a nuestro género se refiere. Hoy no podemos ya, como solía hacerse, preguntarnos si la fábula india deriva de la griega o viceversa: la fábula griega tiene, para Adrados, raíces griegas y la fábula india tiene raíces indias, aunque ambas han recibido influjo de la fábula más primitiva, la sumeria y mesopotámica, y en algunas ocasiones han podido influirse mutuamente a partir de la época helenística (cfr. p. 310 ss.). Hay que destacar en este capítulo lo que puede ser una novedad para el helenista: la puesta al día de todo lo que sabemos sobre tradición *fabulística* oriental, tras los estudios de eminentes investigadores (Alster, Kramer, Gordon, Williams, Trencsény-Waldapfer, Geib, Edgerton, etc.), con un inventario de lo que contiene lo oriental y, sobre todo (pp. 354 ss.), de los elementos estructurales de la fábula griega y oriental.

Menos convincentes me parecen los capítulos I y II (que se ocupan, respectivamente, de "La fábula animal y vegetal en época clásica" y "La fábula animal y vegetal en su contexto original"). El primero amplía las consideraciones anteriores abordando todo lo que, en el aspecto del contenido y presentación, de la fábula clásica sabemos. Señala Adrados –hecho comprensible, hasta cierto punto– en este capítulo que las fábulas animalísticas muestran unas claras constantes, aunque lógicamente pueden aparecer variantes en la estructura típica.

El capítulo segundo es un intento por establecer los orígenes, más o menos diversos, de la fábula animal y vegetal de la época clásica. Empalmando con su tesis, bien conocida (cfr. su libro *Fiesta, Comedia y Tragedia*, Barcelona, 1972, y en parte también sus *Orígenes de la lírica griega*, Madrid, 1976, para lo que se refiere a los elementos populares y "rituales") según la cual en el *origen fue la fiesta*, de la que, por sucesivas divisiones dicotómicas, se fueron diferenciando, por oposición, diversos géneros: tragedia, comedia, lírica, fábula, etc., Adrados hace un rápido balance de los elementos que se hallan en la base de la futura fábula. Y aquí no podemos seguirle ya en todas sus conclusiones. Que la *Batracomiomaquia*, por ejemplo, sea una *fábula ampliada*, o que el símil, homérico o no, tenga una relación directa con la fábula, me parece una exageración muy discutible. El hecho de que en los símiles poéticos haya, a veces, elementos populares, no permite extrapolar el fenómeno haciendo siempre del símil un elemento generador de fábulas. Es más, si llevamos a sus últimas consecuencias la posición teórica de Adrados, podríamos siempre hallar, en la base de toda obra literaria, una fábula primitiva, lo que me parece absurdo.

Esos son, empero, reparos muy marginales. Lo que importa es poner de relieve que este libro de Adrados ha sentado las bases definitivas para una posible historia completa de la fábula en la literatura universal. Y eso no es poco. (J. A.)

LIBRO DEL NUEVO COMETA (Valencia, Pedro de Huete, 1573); LITTERA AD BARTHOLOMAEUM REISACHERUM (1574); SUMMA DEL PROGNÓSTICO DEL COMETA (Valencia, Juan Navarro, 1578), Jerónimo Muñoz. Introducción, apéndices y antología por Víctor Navarro Brotóns. Colección "Hispaniae Scientia". Valencia, 1981, 123 págs. + 90 págs. de facsímiles (24 × 17).

Consta este libro de 123 páginas de introducción (14-85), apéndices (88-111), antología (113-123) y tres facsímiles que contienen las obras de Jerónimo Muñoz tituladas *Libro del Nuevo Cometa* (127-197), *Littera ad Bartholomaeum Reisacherum* (199-208) y *Summa del Prognóstico del Cometa* (209-218). Dado que los facsímiles se han reproducido en su prístino estado, sin introducir numeración moderna y correlativa al pie, se entiende que la que aquí damos es nuestra y no se corresponde con la del índice que figura en la página 12. Por otra parte hay que advertir que de las 123 primeras páginas, las pares contienen el texto castellano y las impares la versión inglesa de las mismas debidas a Elizabeth Ladd.

Dejando aparte estas precisiones podemos entrar en el meollo de la materia que constituye el estudio más importante realizado hasta la fecha sobre la obra del polígrafo valenciano, pero esencialmente astrónomo y hebraísta, Jerónimo Muñoz (m. Salamanca, 1591) que tuvo una buena formación en una época en que los españoles aún podían salir, libremente, a estudiar en el extranjero –en especial a Italia– y, de regreso a Valencia (antes de 1556) se dedicó a dar clases de matemáticas hasta que en 1563 entró como catedrático de hebreo en la universidad. Dos años más tarde acumulaba la enseñanza de las matemáticas. En 1578 se trasladó a la Universidad de Salamanca. Tanto en ésta como en aquélla formó discípulos, algunos de los cuales se integraron de lleno en el quehacer intelectual de la España de Felipe II y cuyos nombres aparecen hoy recogidos en nuestros manuales de historia de la ciencia.

La importancia de Muñoz radica en su posición antiaristotélica y en creer que en el mundo celeste pueden darse los mismos fenómenos de corrupción y cambio que en el sublunar, es decir que, milagrosamente o no, pueden formarse cometas o novas. Esta afirmación, que en modo alguno era nueva, aunque sí muy minoritaria, le valió la enemiga de los peripatéticos y cabe pensar hasta qué punto influyó en él la lectura del libro de Albumasar titulado, en su traducción latina, *Memorabilia* en el que W. Hartner (*Tycho Brahe et Albumasar. La question de l'autorité scientifique au debut de la recherche li-*

*bre en Astronomie*; París, 1960), ha encontrado ya expuesta la misma idea aunque no por las mismas razones. En todo caso es curioso que Muñoz afirme que la *nova* de 1572 (la distinción entre cometas y novas era muy difícil, por no decir imposible, de establecer en el siglo XVI) se formó el 11 de noviembre de 1572 y aluda, para justificar la fecha, el testimonio de Albumasar (fol. 7 *v* = pág. 142) y que la misma fecha dé Tycho Brahe (Cf. Hartner *op. cit.*), lo cual hace pensar que éste conoció las mismas doctrinas que Muñoz, aunque no pueda asegurarse con certeza, dada la descripción que nos ha legado de su descubrimiento y que ha sido debidamente recogida por Clark y Stephenson (*The Historical Supernovae*, Oxford, 1977, pág. 174).

La diferencia estriba en que mientras en la Europa Central se había introducido una cierta libertad de pensamiento como consecuencia de la Reforma, no ocurría lo mismo en España –salvo para el caso del heliocentrismo copernicano y sólo durante algunos años– y Muñoz pronto se convirtió en blanco de las iras de sus enemigos. En la carta que dirige a Reisacherus (Apéndice, 3 = pág. 108) no vacila en escribir: "Me he reservado muchas otras cosas, además de las que he divulgado en este librito, indignado porque a cambio de mis realizaciones no me han dado las gracias, sino que además he sido rociado de injurias por muchos teólogos, filósofos y palaciegos del rey Felipe por lo que he decidido ocultar lo experimentado... En el futuro invertiré mi dinero mejor de lo que hice hasta ahora imprimiendo libros. Como dice Plinio, no es España, ni muchos menos, observadora de astros, ni colaboran diligentemente con los matemáticos, sino sólo con las artes mercantiles..." (Valencia, 13 de abril de 1574).

De aquí que cuando observe el cometa de 1577 sus consideraciones teóricas carezcan del interés de las expuestas en 1572.

La obra de Navarro Brotóns, muy cuidada, va debidamente anotada desde los puntos de vista literario y matemático. En este último se ciñe a los conocimientos que debió tener el propio Muñoz de la trigonometría de la época, basada toda ella en el *De Triangulis* de Regiomontano, al cual considera como el astrónomo renacentista más importante: "Yo siempre fui de la opinión de que en las cosas que pueden demostrarse no hay que dar (...) crédito a nadie, ni a Ptolomeo, ni al rey Alfonso ni a Juan Regiomontano que para mí es mucho más docto que Nicolás Copérnico y Erasmo Reinhold" (pág. 102).

El primer apéndice (págs. 88-91) recoge la estadística de los "Autores citados y frecuencia de citación en el *Libro del Nuevo Cometa*" entre los cuales figuran dos árabes muy leídos por las gentes del Renacimiento: el ya citado Albumasar y Alí ibn Ridwán (Haly Eben Rodán (m. 1061), autor de un Comentario del *Tetrabiblos* que, además, observó la célebre nova del 1006, que, junto con otros fenómenos celestes, según el gran astrónomo y astrólogo madrileño, residente en Córdoba, Maslama (m. 1007) anunciaba el fin del Califato omeya; el segundo (págs. 92-94) contiene el texto latino de la colación del grado de bachiller en artes de Jerónimo Muñoz. (J. V.)

THE LAND OF STEVIN AND HUYGENS, por Dirk J. Struik. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht: Holland, 1981. Reza el subtítulo de esta obra, traducida al inglés de su tercera edición holandesa: "A Sketch of Science and Technology in the Dutch Republic during the Golden Century". El siglo de oro al que se hace referencia transcurre desde finales del XVI hasta las postrimerías del XVII y son sus exponentes Oldenbarnevelt, De Witt, la Casa de los Orange, Rembrandt, Stevin, Huygens, Reinier de Graaf, Jan Swammerdam, Leeuwenhoek, Spinoza... Siglo de un país enardecido por un intenso nacionalismo que se había avivado en la lucha contra España, que defendió su lengua hasta hacerla vehículo de expresión científica, desarrolló el arte de navegar y la cartografía, guardados sus resultados como secretos de estado, y dio abrigo a cuantos amaban la libertad de pensamiento. La trampa del panegírico era muy sutil y sugestiva para que Struik se librara de ella.

La verdad es que la historia de la ciencia ha vivido demasiado tiempo de paradigmas y revoluciones, de arqueologías y epistemes, donde sólo alcanzan relevancia los grandes cambios que, se dice, suponen un viraje de timón en el conjunto de los conocimientos admitidos en un momento dado. En esa línea, el siglo de oro holandés no sería más que un puente de transición para pasar de Galileo a Newton. Pero es un enfoque parcial, y, en cuanto tal, quizá podamos exculparle a Struik sus fervores al vindicar ese período.

Evitemos la torpeza de contraponer o ponderar una retahíla de matemáticos (¿Adrian van Roomen? ¿H. van Heuvaet?), geógrafos (¿Mercator?), fí-

sicos (¿Willebrord Suel van Royen?), químicos (¿Johannes Baptista van Helmont?), anatomistas (¿Blasius, Swammerdam y Graaf?), botánicos, microscopistas, geólogos (¿Anselmo B. de Boadt?), con la cohorte de talleres menestrales para pulir espejos, construir relojes, imprentas, etcétera, que pongan sordina a las "grandes etapas" de la historia. Evitemos ese enfoque de la ciencia que camina a saltos discontinuos, a imagen de la novísima teoría de la evolución por equilibrios intermitentes. Junto a las grandes aceleraciones, e inclusos cambios de sentido, el conocimiento progresa paulatinamente, a trancas y barrancas, sin que casi nunca sepamos quién niveló el firme o quién ensanchó la carretera: esa es labor de peonaje de la ciencia de cada día. James D. Watson lo cuenta para el caso de la estructura helicoidal del ADN (*The Double Helix*) en cuyo descubrimiento intervino de una forma muy destacada.

Y así ocurrió también, por ejemplo, con la teoría de la luz en el XVII, donde convergieron una nueva aproximación a la naturaleza y la aplicación de técnicas matemáticas a problemas físicos: una lección de óptica y de metodología. Hasta entonces, y desde el siglo XII, venían corriendo con suerte dispar tres explicaciones sobre la naturaleza de la luz: emisión de rayos por los ojos, defendida por Aristóteles y Euclides; recepción de los rayos emitidos o reflejados, sostenida por Epicuro, y la doble emisión, de Empédocles. Aceptemos que sea Descartes quien establece la ley de la refracción, aunque podamos rastrear sus orígenes hasta el propio Ptolomeo y sobre todo a Alhacén, o`Ibn-al-Hayṯ, físico cairota del siglo x, traducido al latín por Gerardo de Cremona, verosímilmente, quien analiza la constitución del ojo, habla de la visión binocular y se preocupa asimismo de la reflexión y la refracción. Ante la aparición de la *Dioptrique* cartesiana, Fermat deduce la refracción de su principio del menor tiempo. Huygens aporta el valor de la experiencia al racionalismo deductivo de Descartes e introduce en 1672 la teoría ondulatoria de la luz, al tiempo que esboza un *Proyecto de Dióptrica*, donde esquematiza su contenido: "La refracción de Pardies, comparación entre luz y sonido, las ondas en el aire, comparación entre su comportamiento y las del agua, la gravedad causa de las ondas en el agua y la elasticidad causa de las ondas en el aire, transparencia sin penetración de los rayos, cuerpo o medio capaz de este movimiento sucesivo de la luz, propagación perpendicular a los círculos descritos por las ondas en su expansión, objeciones a Descartes, de dónde vendrá la aceleración, para Descartes la luz es un conato de movimiento lo que dificulta la explicación que da de la refracción, Causa de la reflexión en ángulos iguales, la luz se propaga circularmente y no al instante al menos en el mundo subceleste, ya que en lo relativo a la luz de las estrellas cuesta más afirmar su carácter no instantáneo, Explicación esta que es coherente con la experimentación, por los senos, por el rayo que entra y sale de un medio, por el rayo que no puede introducirse en la interfase, por el cristal, en el agua, sobre la forma en que Rohaut tiene de hacer ver las concordancias."

Pero sería Newton, dirán los historiadores, quien se levantaría con el santo y la limosna en la teoría corpuscular de la luz, arrumbando la teoría perdedora al nimbo de la metafísica en su más degradada acepción o como mero juego de hipótesis contra el que tronará su rotundo "hypotheses non fingo". Si atendemos a otras parcelas trabajadas por Huygens (mecánica y astronomía, por ejemplo), observaremos que Clío pasa de largo al tener en su almario otras devociones (Galileo y Kepler). Y lo expuesto para Huygens vale para otros.

Una nota final. Falta un estudio serio de la influencia española en los Países Bajos. No me refiero, obviamente, a las relaciones políticas o religiosas, sino al intercambio científico. (Por citar uno, Jan Huygens van Linschoten tradujo al holandés, en 1598 la *Historia natural y moral de las Indias* (Sevilla, 1590; edición crítica "Hispaniae Scientia"; Valencia, 1977), de José de Acosta.) En línea con el resumen forzoso de la obra de José M.ª López Piñero, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII* (Labor, 1979; págs. 140-148). Sabida es la estrecha cooperación en cartografía y medicina. Los Países Bajos eran, además, refugio de muchos judíos españoles, de alto nivel intelectual. Ellos contribuyeron al talante liberal de la república: "Si homines res omnes suas certo consilio regere possent, vel si fortuna ipsis prospera semper foret, mulla superstitione tenerentur" ("Si los hombres pudieran gobernar sus asuntos con un consejo cierto, o si la fortuna siempre les fuera propicia, no se verían coaccionados por ninguna superstición"), escribía por entonces Baruch Spinoza ("Prólogo" a su *Tractatus Theologico-Politicus*.) (L. Alonso.)

# Bibliografía

*Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:*


## MECANIZACION DEL TRABAJO

TECHNOLOGY AND SOCIAL CHANGE. Dirigido por Eli Ginzberg. Columbia University Press, 1979.

SERVICES/THE NEW ECONOMY. Thomas M. Stanback, Jr., y Thierry Noyelle. Allanheld, Osmun & Co. Publishers, Inc., 1981.

## MECANIZACION DE LA AGRICULTURA

THE AGRICULTURAL TRACTORS, 1855-1950. Roy B. Gray. American Society of Agricultural Engineers, 1974.

WHEREBY WE THRIVE: A HISTORY OF AMERICAN FARMING, 1607-1972. John T. Schlebecker. Iowa State University Press, 1974.

AGRICULTURE IN THE UNITED STATES: A DOCUMENTARY HISTORY. Wayne D. Rasmussen. Random House, Inc., 1975.

MECHANIZATION OF COTTON PRODUCTION SINCE WORLD WAR II. Gilbert C. Fite en *Agricultural History*, volumen 54, páginas. 190-207; enero de 1980.

## MECANIZACION DE LA MINERIA

75 YEARS OF PROGRESS IN THE MINERAL INDUSTRY, 1871-1946. Dirigido por A. B. Parsons. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 1947.

COAL—A CONTEMPORARY ENERGY STORY. Kristina Lindbergh y Barry Provorse. Scribe Publishing Corp. y *Coal Age*, 1977.

ECONOMIC MINABILITY OF HARD COAL OCCURRENCES IN THE WORLD—INTERRELATIONSHIPS AND DEVELOPMENTS. Gunter B. Fettweis en *Gluckauf*, vol. 117, n.º 16, págs. 1019-1029; 20 de agosto de 1981.

## MECANIZACION DEL DISEÑO Y DE LA FABRICACION

ROBOTICS IN PRACTICE. Joseph F. Engleberger. Kogan Page y Avebury Publishing Company, 1980.

COMPUTER APPLICATIONS IN MANUFACTURING. Thomas G. Gunn. Industrial Press Inc., 1981.

IMPLEMENTING CIM. George H. Schaffer en *American Machinist*, vol. 125, n.º 8, págs. 151-174; agosto, 1981.

## MECANIZACION DEL COMERCIO

THE RELATIONSHIP BETWEEN MARKET STRUCTURE AND THE INNOVATION PROCESS. Gordon Raisbeck y Mark Schupack. Preparado por Arthur D. Little, Inc., para American Telephone and Telegraph Company, 1976.

THE WIRED SOCIETY. James Martin. Prentice-Hall, Inc., 1978.

NATIONAL TRANSPORTATION POLICIES THROUGH THE YEAR 2000. National Transportation Policy Study Commission. U.S. Government Printing Office, 1979.

## MECANIZACION DE LAS TELECOMUNICACIONES

INTRODUCCIÓN A LAS REDES DIGITALES DE SERVICIOS INTEGRADOS. G. Robin y S. R. Treves en *Comunicaciones Eléctricas*, vol. 56, n.º 1, págs. 4-16; 1981.

LOS SERVICIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS DE LA COMPAÑÍA TELEFÓNICA NACIONAL DE ESPAÑA. José M.ª Pons Claret en *Novática*, vol. VII, n.º 37, págs. 31-42; 1981.

AN INTRODUCTION TO LOCAL AREA NETWORKS. David D. Clark, Kenneth T. Pogran y David P. Reed en *Proceedings of the IEEE*, noviembre, 1978; págs. 1497-1517.

## MECANIZACION DEL TRABAJO DE OFICINA

A HIDDEN PRODUCTIVITY FACTOR. Vincent E. Giuliano en *Telephony*, vol. 199, n.º 3, págs. 30-36, 79; 21 de julio de 1980.

ECONOMICS AND VALUES IN THE INFORMATION SOCIETY. V. E. Giuliano en *Information Society: Changes, Chances, Challenges*. 14th International TNO Conference. The Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO, 1981.

OFFICE AUTOMATION: A SURVEY OF TOOLS AND TECHNIQUES. David Barcomb. Digital Press, 1981.

## MECANIZACION DEL TRABAJO DE LA MUJER

THE "INDUSTRIAL REVOLUTION" IN THE HOME: HOUSEHOLD TECHNOLOGY AND SOCIAL CHANGE IN THE 20TH CENTURY. Ruth Schwartz Cowan en *Technology and Culture*, vol. 17, n.º 1, págs. 1-23; enero, 1976.

WOMEN, WORK, AND FAMILY. Louise A. Tilly y Joan W. Scott. Holt, Rinehart and Winston, 1978.

WOMEN AT WORK: THE TRANSFORMATION OF WORK AND COMMUNITY IN LOWELL, MASSACHUSETTS, 1826-1860. Thomas Dublin. Columbia University Press, 1979.

THE ECONOMICS OF WOMEN AND WORK. Dirigido por Alice H. Amsden. Penguin Books, 1980.

## DISTRIBUCION DE TRABAJO Y RENTA

LIFETIME ALLOCATION OF WORK AND INCOME. Juanita Kreps. Duke University Press, 1971.

EXCHANGING EARNINGS FOR LEISURE: FINDINGS OF AN EXPLORATORY NATIONAL SURVEY ON WORK TIME PREFERENCES. Fred Best. Employment and Training Administration, U.S. Department of Labor, U.S. Government Printing Office, 1979.

MIKROELEKTRONIK: ANWENDUNGEN, VERBREITUNG UND AUSWIRKUNGEN AM BEISPIEL ÖSTERREICHS. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung y Österreichische Akademie der Wissenschaften, con prólogo de Hertha Firnberg. Springer-Verlag, 1981.

## TEMAS METAMAGICOS

MATTER, MIND, AND MODELS. Marvin L. Minsky en *Semantic Information Processing*, dirigido por Marvin L. Minsky. The MIT Press, 1968.

PROGRESS IN ART. Suzi Gablik. Rizzoli International Publications, Ltd., 1976.

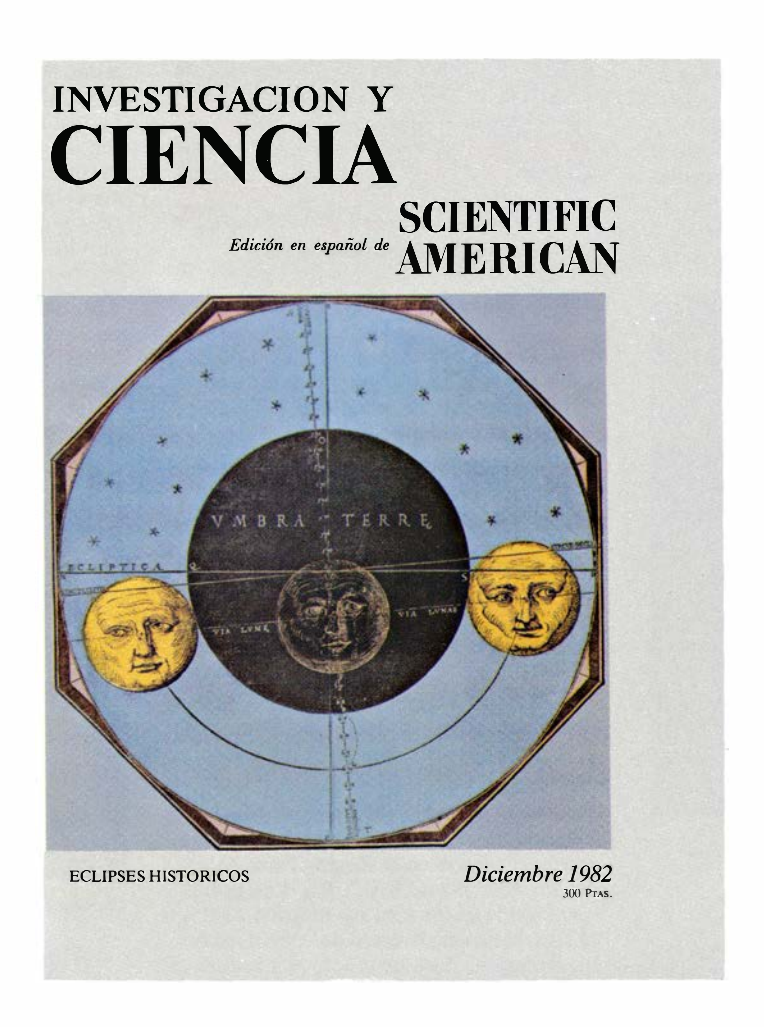
MECHANISM, MENTALISM, AND METAMATHEMATICS. Judson C. Webb, D. Reidel Publishing Co., 1980.

## TALLER Y LABORATORIO

THE SHEARING AND DILATATION OF DRY SAND AND "SINGING" MECHANISM. R. A. Bagnold en *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. A295, págs. 219-232; 1966.

CHLADNI'S LAW FOR VIBRATING PLATES. Thomas D. Rossing en *American Journal of Physics*, vol. 50, págs. 271-274; 1982.

# *Seguiremos explorando los campos del conocimiento*




**CALCIO Y TRANSMISION SINAPTICA, por Rodolfo R. Llinás**
*Un flujo de iones de calcio desencadena la transmisión de señales eléctricas de una célula nerviosa a otra. Se estudia el proceso en una sinapsis cuyo tamaño es cientos de veces superior al común.*

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL, por David L. Watz**
*Los programas de ordenador, además de competir en juegos, procesan información visual, aprenden de la experiencia y comprenden algunos lenguajes naturales.*

**FLUIDOS MAGNETICOS, por Ronald E. Rosensweig**
*Al suspender partículas ferromagnéticas en un líquido apropiado se obtiene un "ferrofluido" de propiedades únicas.*

**MACAREOS DE MAREA, por David K. Lynch**
*Un macareo es el análogo hidráulico del estampido sónico: una pared de agua que remonta algunos ríos con desembocadura al mar. Horas después de su paso, las aguas fluyen aún contracorriente.*

**COMO DAN LAS ABEJAS CON UN NUEVO HABITACULO, por Thomas D. Seeley**
*En la mayor parte de la zona templada, las nuevas colonias de abejas deben hallar abrigo donde resguardarse del invierno. Los "exploradores" de más edad llevan a cabo la búsqueda, con sorprendente rigor.*

**ECLIPSES HISTORICOS, por F. Richard Stephenson**
*Se dispone de registros fiables de eclipses de sol y de luna desde el año 750 a. de C. Se deduce de su estudio que quizás el sol se está encogiendo, o la tierra gira a menos velocidad que antes.*

**VERIFICACION DE UNA SUSPENSION TOTAL DE ENSAYOS NUCLEARES, por Lynn R. Sykes y Jack F. Evernden**
*Una red de instrumentos sísmicos podría controlar con gran precisión la suspensión total de ensayos nucleares.*

**FULGURACIONES SOLARES, por J. I. García de la Rosa, F. Herrera y M. Vázquez**
*En la atmósfera solar tienen lugar gigantescas explosiones, que influyen notablemente en la Tierra. Mediante una serie de observaciones a escala mundial se intenta explicar su origen y evolución.*

